

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

RÉPUBLIQUE DU MALI

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE RURALE

Service du Génie Rural

Étude Hydrologique
des Bassins Versants Expérimentaux
de KANGABA
Campagne 1960

par

P. Pourrut

G. Dubee

OFFICE de la RECHERCHE
SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE OUTRE-MER

REPUBLIQUE du MALI

MINISTERE de
l'ECONOMIE RURALE

Service du GENIE RURAL

ETUDE HYDROLOGIQUE
des BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX
de K A N G A B A

Campagne 1960

par

P. POURRUT

et

G. DUBEE

INTRODUCTION

Par Convention N° 45, en date du 25 Mars 1960, le Service du Génie Rural de la République du MALI confiait à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, l'étude hydrologique de deux bassins versants dans la région du MADINA, subdivision de KANGABA, en vue de la mise en valeur rizicole de cette région.

Pour le premier bassin, bassin versant de la Koba au pont de la route KANGABA-KENIEROBA, l'étude devait porter essentiellement sur la valeur des crues maximales et minimales annuelles et décennales.

Pour le second bassin versant, celui du DJITIKO, la caractéristique hydrologique principale à déterminer était la valeur des volumes écoulés consécutifs aux précipitations annuelle et décennale fortes et faibles (bilan hydrologique).

Les travaux et observations sur le terrain ont été réalisés par M. DUBEE, technicien hydrologue de l'O.R.S.T.O.M., sous la direction de M. Y. BRUNET-MORET, ingénieur hydrologue.

CHAPITRE I

DONNEES GEOGRAPHIQUES

A) SITUATION

L'examen des cartes au 1/200.000° FARABA et BAMAKO-Ouest permet de préciser les caractéristiques géographiques de ces deux bassins situés sur le territoire de la République du MALI (graphique 1 et 2).

Longue de 72,5 km, la KOBA est un affluent de la rive gauche du NIGER qu'elle rejoint à 5 km en aval du confluent du SANKARANI et à 80 km en amont de BAMAKO. Son bassin versant s'inscrit dans un quadrilatère dont les coordonnées géographiques sont les suivantes :

Latitudes : 11° 55' N - 12° 25' N
Longitudes : 8° 22' W - 8° 45' W

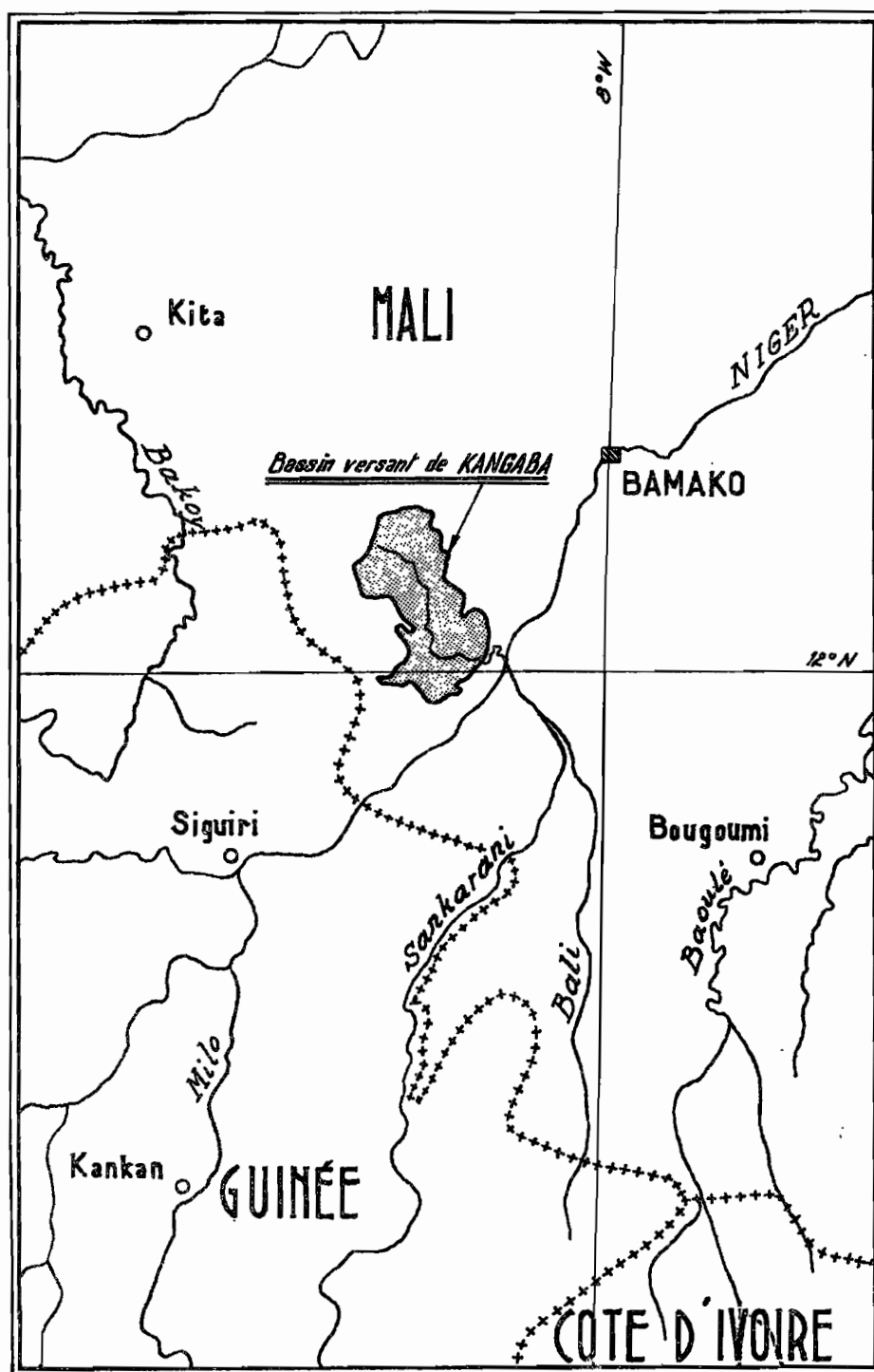
De forme très grossièrement elliptique, il s'allonge sur une longueur de 57 km suivant un grand axe NNW - SSE. La largeur suivant l'axe transversal WSW - ENE est de 14 km.

Le DJITIKO, dernier affluent de rive gauche de la KOBA avant son confluent avec le NIGER, possède un bassin versant dont l'allongement est le même mais dont la forme générale pourrait être qualifiée de "goutte d'eau", la pointe terminale, c'est-à-dire l'exutoire, se situant à la hauteur du pont de la route BAMAKO-KANGABA. La longueur suivant l'axe NNW - SSE est de 13,5 km, la plus grande largeur de 8,5 km.

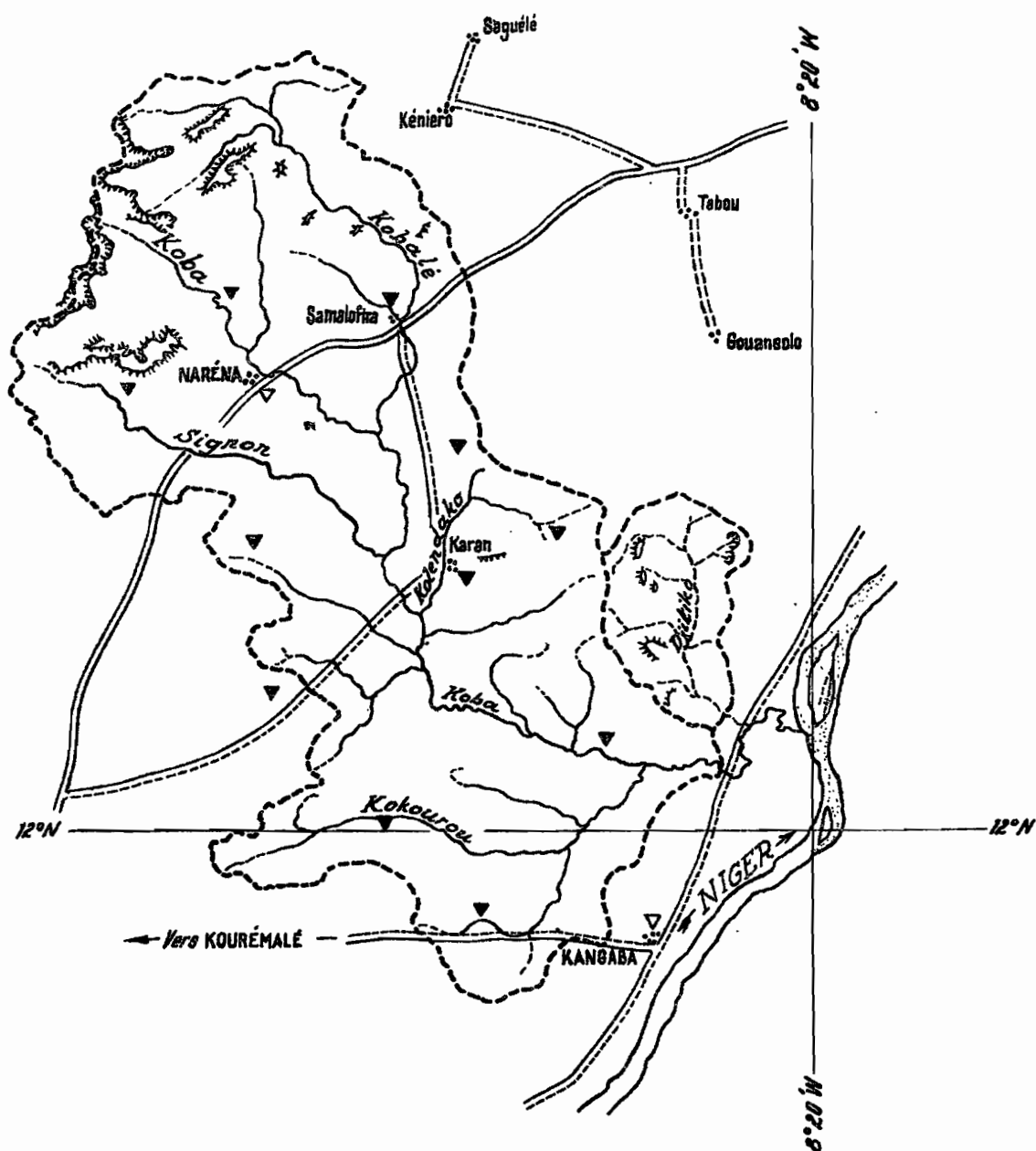
Ce petit bassin versant s'inscrit entre les coordonnées géographiques suivantes :

Latitudes : 12° 3' N - 12° 11' N
Longitudes : 8° 22' W - 8° 27' W

SITUATION GÉOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE KANGABA



CARTE GÉNÉRALE DU BASSIN VERSANT DE KANGABA



NOTA : Pour l'équipement du bassin du Djilika voir les fiches pluviométriques

Échelle 1/400 000

ORSTOM

Ao

DATE : 20-10-1958

DESSINÉ : J. Harbich

MAL 51 059

Quant aux caractéristiques géométriques de ces deux bassins, elles sont résumées dans le tableau ci-après :

	<u>KOBA à DEGUELA(1)</u>	<u>DJITIKO à MADINA(1)</u>
Superficie en km ²	1 052	82
Périmètre en km	184,8	39,6
Dimensions du rectangle de même surface et de même périmètre, en km	79,1 & 13,3	13,9 & 5,9

B) RELIEF et HYPSONETRIE

En dehors de la partie nord-orientale du bassin de la KOBA, où les massifs tabulaires de FAMANSA et KINIEMAKOUREOU dépassent 750 m, le reste de la ligne de crête culmine entre 400 et 550 m. Ces reliefs gréseux de la région septentrionale représentent la partie la plus accidentée, les éboulis qui masquent parfois presque complètement les falaises pouvant avoir une pente très accentuée (20 % vers la source du SIGNON).

Le petit bassin du DJITIKO est beaucoup plus homogène bien que la ligne de crête à l'Ouest (KOLIKOUREOU : 583 m) soit plus élevée qu'à l'Est (380 m). A signaler, à mi-parcours du DJITIKO, la présence de tables latéritiques.

Les caractéristiques hypsométriques sont résumées dans le tableau suivant (graph. 3 et 3 bis).

(1) Stations de jaugeages

Altitudes comprises entre	Bassin de la KOBA		Bassin du DJITIKO	
	Surface en km ²	en %	Surface en km ²	en %
le point bas et 350 m	114	10,8	20,75	25,3
350 m et 400 m	451	42,85	57,25	69,85
400 m et 450 m	277	26,4	3,25	3,95
450 m et 500 m	67	6,4	0,50	0,6
500 m et 550 m	39	3,7	0,25	0,3
550 m et 600 m	33	3,1		
600 m et 650 m	36	3,4		
650 m et 700 m	25	2,4		
700 m et 795 m	10	0,95		

On peut également extraire les caractéristiques topographiques des deux bassins :

	<u>KOBA</u>	<u>DJITIKO</u>
Point culminant en m	795	563
Altitude de base	335	335
Altitude moyenne	423	360

O R S T O N

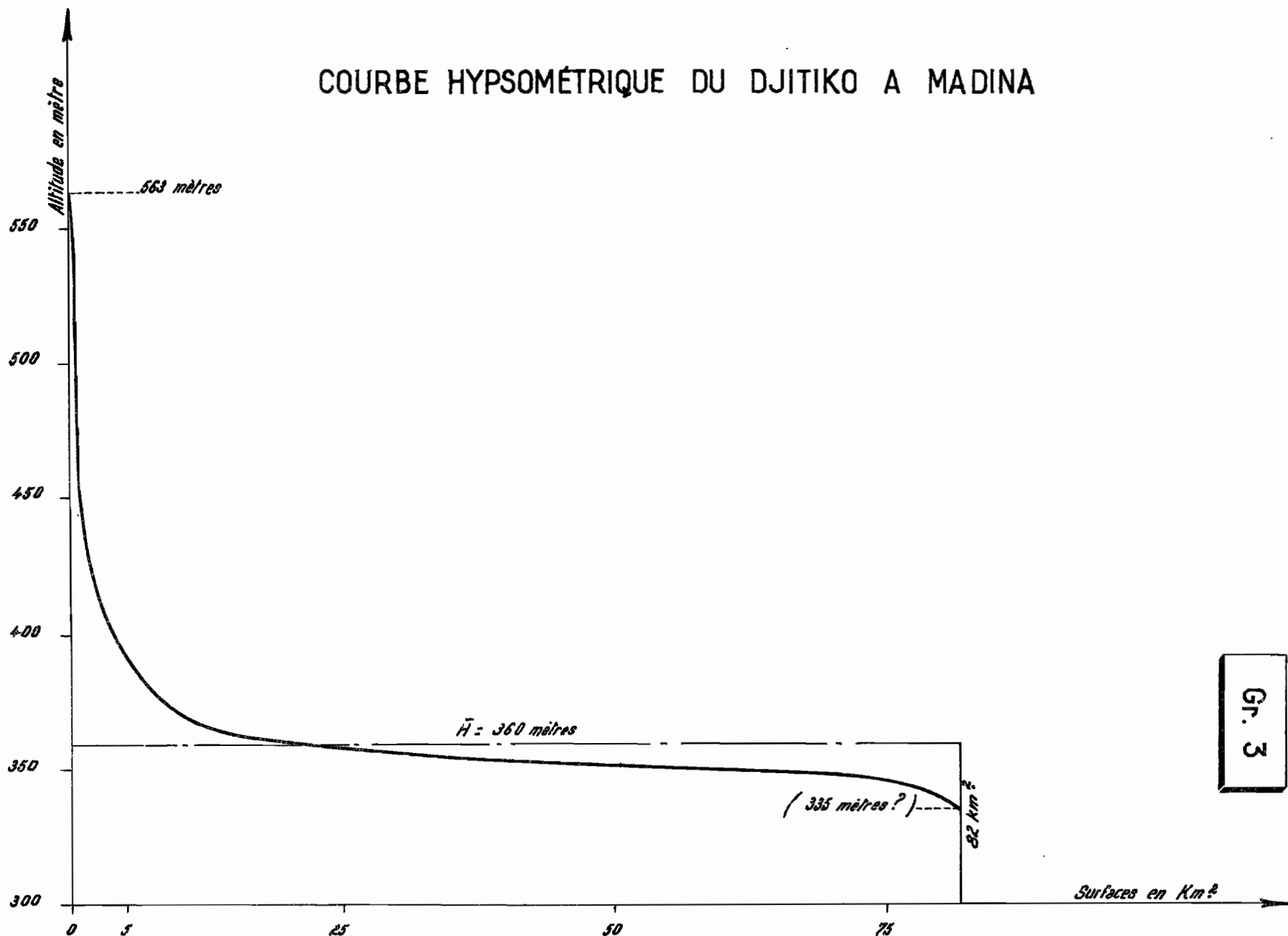
A₀

DATE : 10-06-1951

DESSINÉ : J. Huetichy

MAL 51 060

COURBE HYSOMÉTRIQUE DU DJITIKO A MADINA



Gr. 3

C R S T O N

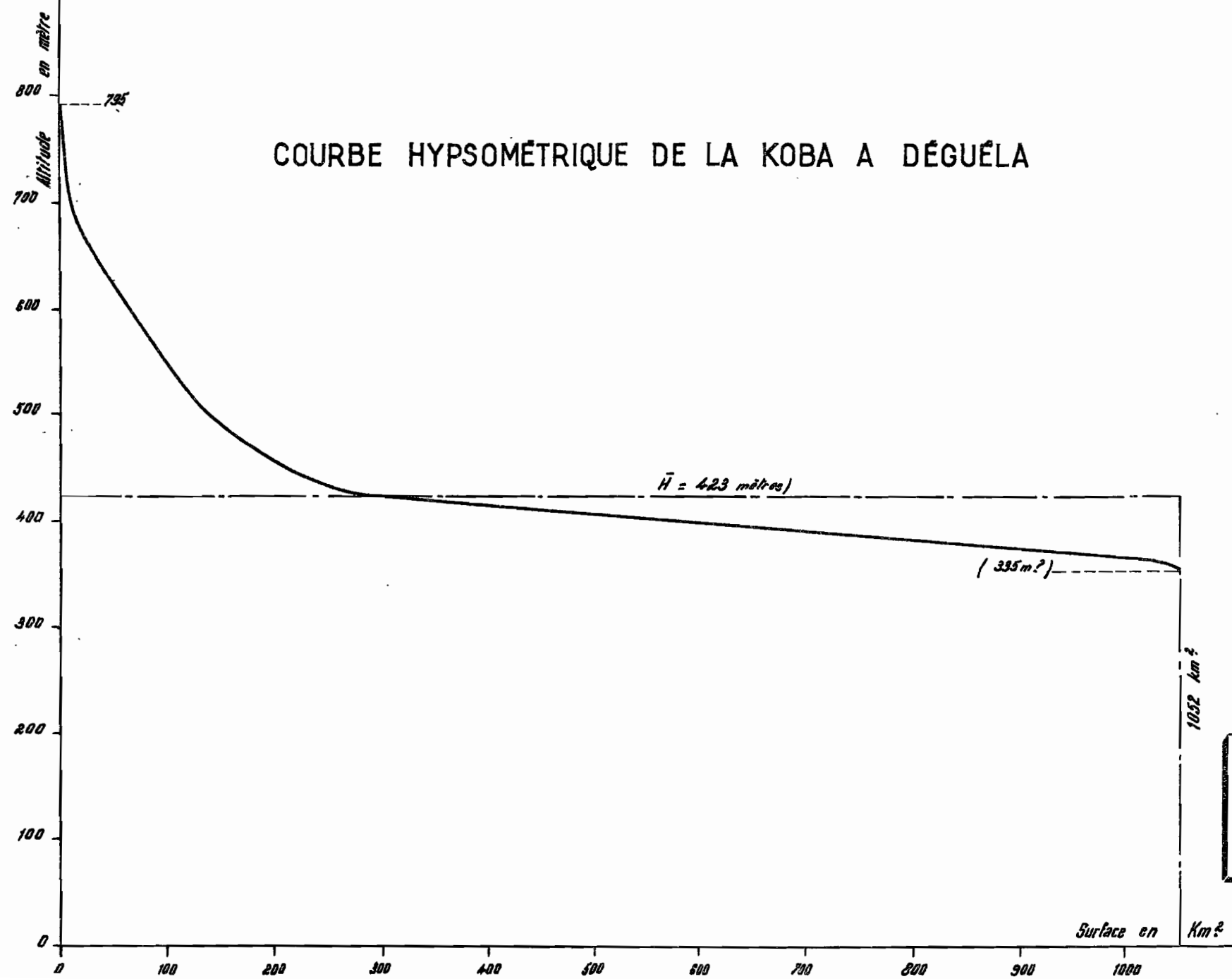
Ao

DATE : m.-n.-m.m.m.m

DESSINÉ : j. j. j. j. j.

MAL 51 061

COURBE HYPSONOMÉTRIQUE DE LA Koba A DÉGUÉLA



Gr. 3 bis

C) Le RESEAU HYDROGRAPHIQUE

La Koba (72,4 km) draine toute la partie médiane du bassin, aidée en cela, à l'Ouest, par le SIGNON (29,8 km), à l'Est par le KOLENDAKO (17,4 km). Son cours peut être divisé en deux parties : en amont de BAKO il est bien marqué et assez encaissé, en aval et jusqu'au pont, le fleuve divague dans un lit très large.

Le Nord et le Nord-Est du bassin alimentent le KOBALIE (41,2 km). La partie méridionale, couvrant environ 15% de la surface, est à peu près indépendante et drainée par le KOKOIROU (32,2 km) qui coule entre les collines de KANGABA recouvertes d'une cuirasse de latérite.

Tous ces cours d'eau, en dehors de la Koba en amont de BAKO, ont des lits mineurs très peu marqués sur toute leur longueur et ceci, en période de hautes eaux, gênera considérablement le déplacement des ondes de crues. Il pourra se former de vastes zones d'inondations dont la vidange sera, au surplus, retardée par la végétation très dense qui s'y est installée.

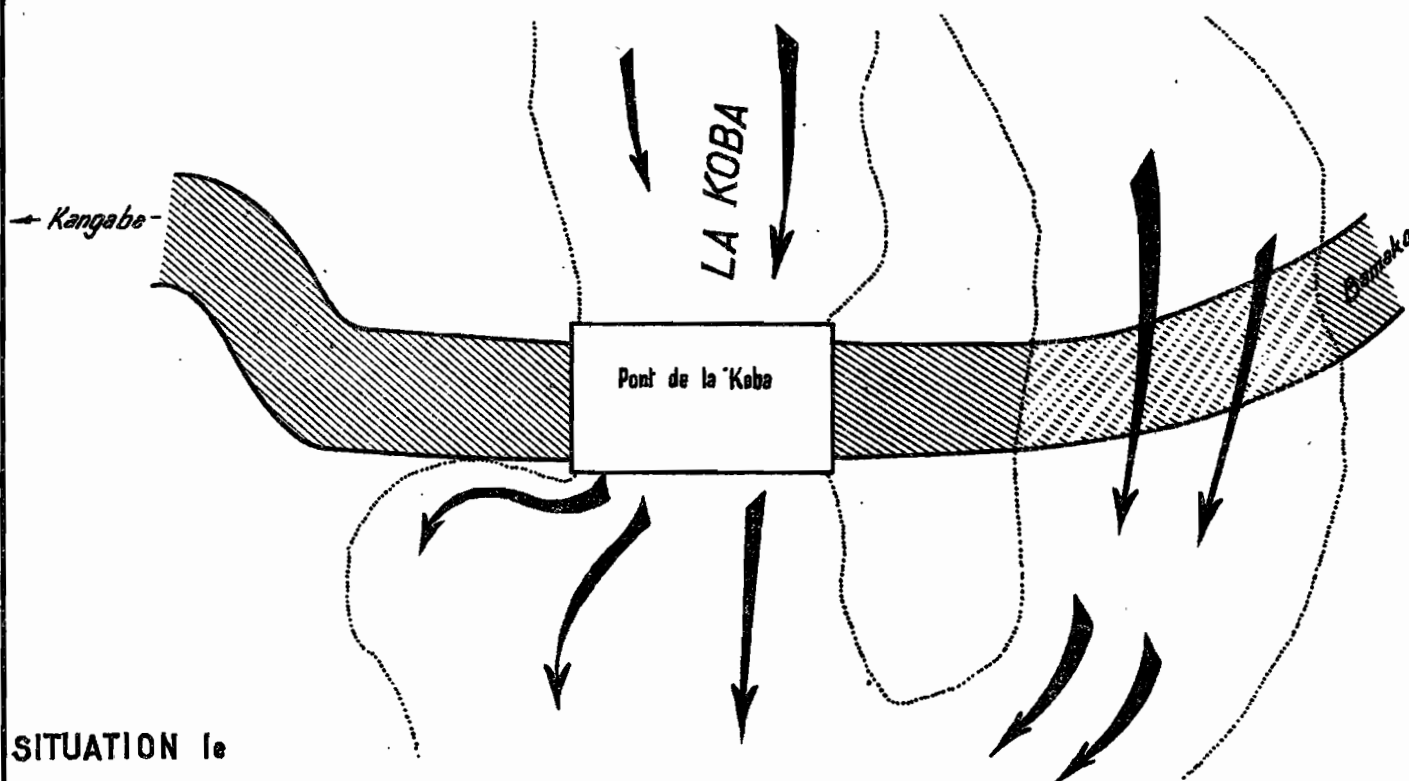
L'écoulement des eaux se fait sous le pont de la route BAMAKO-KANGABA. Lors d'une crue importante, le 26 Septembre 1960 par exemple, il peut y avoir débordement et création d'une zone d'inondation. L'eau peut même, comme dans cet exemple précis, inonder la route (côté BAMAKO), Graph. N° 0.

Le DJITIKO, dont l'exutoire est également l'ouverture d'un pont de 3 km plus proche de KENIEROBA, peut lui aussi déborder sur chaque rive. Les zones inondées peuvent être très importantes, les eaux s'écoulant par-dessus la route, de chaque côté, pour rejoindre le fleuve plus en aval. Telle la crue du 10 Août 1960.

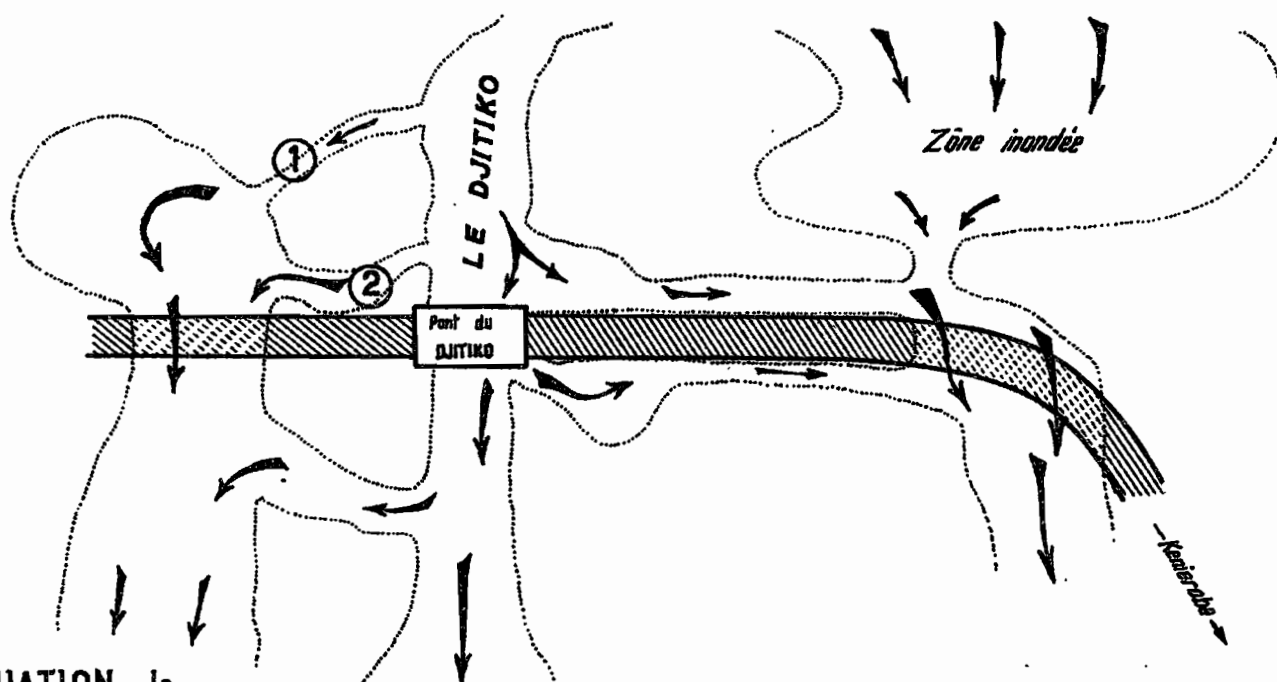
DÉBORDEMENTS DE LA KOBA ET DU DJITIKO

Gr. 0

AUX STATIONS DE JAUGEAGE



SITUATION le
26-9-1960



SITUATION le
10-8-1960

R.D. ① Ecoulement faible entre les herbes
② Débordement principal

D) GEOLOGIE, SOLS et VEGETATION

Toute la région se présente comme un immense ensemble structural.

De récents travaux de R. DARS proposent pour le SOUDAN méridional, région de BAMAKO, l'ensemble stratigraphique suivant :

- la série III (KOULOUBA) : grès ordoviciens à stratification entrecroisée
- la série II (SOTUBA) d'âge cambrien et qui, composée à la partie supérieure par les psammites de IEDINE, a un sens très étendu et comporte tout ce qui se trouve sous la série de KOULOUBA.
- la série I (NARA) infracambrienne, souvent absente et comprenant des schistes, des jaspes et des calcaires à stromatolithes.
- le socle.

Une étude plus poussée serait nécessaire pour dire si nous sommes en présence de toutes ces couches géologiques ; et en première approximation, nous pouvons dire que nous avons affaire à un épais complexe, principalement gréseux, et reposant sur un socle granito-gneissique.

Ce complexe qui, par lui-même constitue un très bon réservoir d'eau, est dégradé de telle manière qu'il donne :

- des colluvions de bas de pente, formés de débris d'altération, très perméables en surface mais certainement cimentés par de l'argile dans les couches plus profondes,
- des cuirasses latéritiques superficielles, principalement sur les étendues peu accidentées des plateaux de la partie amont.

Quant à la végétation naturelle, elle ne subsiste sous forme d'arbustes et de broussailles très denses que dans le Sud, inhabité et irrigué par le KOUKOUROU, ainsi que dans la partie supérieure du cours du DJITIKO. Tout le reste est très habité et très cultivé (riz et mil), principalement les plaines bordières de la Koba, du KOBALÉ et du SIGNON.

E) CONSEQUENCES sur l'ÉCOULEMENT

Tout ce qui précède nous donne une idée du mode d'écoulement pouvant en résulter.

Ainsi, sur les sols hydromorphes et plutôt imperméables de l'aval, nous trouverons une infiltration relativement faible ; par contre, le ruissellement sera important et rapide.

La zone des plateaux cuirassés, au contraire, favorisera l'infiltration, entraînera un stockage important des eaux, retardant l'écoulement. Il faudra attendre un taux de saturation suffisant pour que le ruissellement y soit notable. Les colluvions d'amont, par leur structure alternativement perméable et imperméabilisée par de l'argile, joueront également un grand rôle dans la rétention.

Tout ceci sera la cause de pertes sur le ruissellement immédiat d'une averse, mais d'un gain sur l'écoulement de base qui en sera nettement amélioré.

C H A P I T R E II

DONNEES CLIMATOLOGIQUES

A moins de 100 km au Sud de BAMAKO et sous une latitude de 12° Nord, le bassin versant de KANGABA a une altitude moyenne de 415 m.

J. RODIER, dans "Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du CONGO" (édition provisoire 1961) considère que le climat tropical typique peut être représenté par celui de BAMAKO. Il nous semble utile d'en donner les caractéristiques principales, tirées de l'ouvrage cité ci-dessus.

1 - PLUVIOMETRIE :

Janvier-Février-Mars : période très sèche avec, quelquefois, en Février ou en Mars une faible averse : la "pluie des mangues".

Avril : les premières pluies apparaissent.

Mai-Juin : installation de la saison des pluies, 100 mm à 150 mm en moyenne.

Juillet-Août-Septembre : pleine saison des pluies, 200 mm en moyenne, mais pouvant atteindre 500 mm.

Puis la saison sèche dure 6 mois, les dernières pluies ayant cessé à la mi-Octobre.

Les pluies sont de deux sortes : " les "tornades" courtes et intenses, les "averses de mousson" à caractère continu.

Le coefficient caractéristique de l'irrégularité interannuelle, représenté par le rapport des années décennales sèches et humides (premier décile et dernier décile), se situe dans les environs de 1,5 à 2.

2 - TEMPERATURES :

En Décembre-Janvier, courte "période fraîche". Les écarts diurnes sont assez élevés. La température diurne est voisine de 30° C, nocturne de 15° C à 17° C.

En Avril-Mai, la température diurne passe par un maximum d'environ 40° C.

En hivernage : baisse générale des températures mais l'écart diurne est faible, de l'ordre de 8° C.

En Octobre-Novembre : remontée de la température et écarts diurnes plus importants.

C'est un cycle annuel à double oscillation comme on peut le voir sur le diagramme ci-contre (1) :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tx	33,3	36,0	38,5	39,6	38,2	34,6	30,9	29,8	31,2	33,3	34,4	32,7
Tn	17,2	19,4	23,1	24,8	25,4	23,4	22,2	21,7	21,8	22,0	19,4	17,6

3 - DEGRE HYGROMETRIQUE :

Dans les grandes lignes ses variations se produisent en sens inverse de celles des températures. L'hiver (Décembre-Janvier) donne lieu à des débuts de matinées relativement humides, marquées quelquefois par de la brume ; mais, au milieu du jour, bien que la température ne soit pas excessive, l'humidité relative reste faible.

En saison des pluies, non seulement le matin, mais encore le milieu de la journée, sont marqués par de

(1) BAMAKO 1958 (à 6h)

très fortes humidités relatives. Entre ces périodes extrêmes, au printemps, au mois de Mai, une période désagréable, chaude et assez humide.

Les valeurs du pourcentage d'humidité relative sont les suivantes :

En Décembre et Janvier, l'effet d'hiver est moins sensible en ce qui concerne l'humidité. Cependant, Janvier présente encore 40 à 45 % d'humidité relative à 6 h.

En saison des pluies, on observe :

- 85 à 95 % à 6h }
- 65 à 80 % à 12h } de Juin à Septembre inclus

Octobre présente, respectivement, des coefficients de 90 % et 95 %.

En saison sèche, Février et Mars, l'humidité relative est de :

- 40 à 45 % le matin
- 18 à 22 % l'après-midi

La station d'observation de KANGABA n'ayant fonctionné que de Juin à Septembre, ces renseignements, basés sur les données de la station de BAMAKO, nous donnent une idée des valeurs probables à KANGABA durant la période manquante.

1 - Pluviométrie

Nous avons choisi quatre postes situés autour du bassin et dont les relevés doivent le mieux possible caractériser le terrain :

Nom	Période d'observation
OUOLOSSEBOUGOU	1954 - 59
KANGABA	1940 - 60
FERENTOU MOU	1954 - 59
BAMAKO	1919 - 60

De ces stations installées récemment, en dehors de celle de BAMAKO, nous ne pourrions pas tirer de données d'ensemble intéressant une très longue période. Néanmoins, puisque l'une de ces stations a été observée pendant vingt ans, nous pouvons dire en première approximation (nous verrons plus loin les restrictions apportées) que cette station de KANGABA est susceptible, en dehors de BAMAKO, de fournir les valeurs les plus sûres de notre bassin. Le tableau n° 1 exprime le nombre d'averses de pluviométries différentes et la hauteur totale de pluie recueillie.

On trouve, sur vingt ans, une pluie moyenne annuelle de 1107 mm pour un nombre d'averses égal à 74, celles supérieures à 70 mm étant rares puisque nous n'en avons que 15 au total.

C'est là que nous faisons intervenir la restriction pressentie auparavant. A notre avis, en effet, si le nombre d'averses semble correct, la station nous paraît défavorisée au point de vue des averses de fréquence rare, et à un moindre degré en ce qui concerne la hauteur de précipitation annuelle, par rapport à l'ensemble du bassin que nous étudions. Nous produisons ci-après les tableaux N° 2 et 3 exprimant les plus fortes précipitations enregistrées en 24 h dans les stations repères et sur le bassin versant de KANGABA où il est facile de constater que le poste de KANGABA arrive derrière FERENTOUMOU, BAMAKO, et loin derrière les pluviomètres du bassin, pour les averses de faible fréquence.

Un autre critère de comparaison, d'ailleurs beaucoup plus représentatif vis-à-vis de l'écoulement dans la Koba, est la hauteur de pluie recueillie pendant cinq jours consécutifs.

Nous avons relevé dans le tableau N° 4 ces différentes valeurs, ponctuelles aux stations alentour, et deux valeurs sur le bassin versant en 1960 calculées pour la totalité de la superficie. Là encore, le poste officiel de KANGABA donne des valeurs trop faibles pour l'ensemble du bassin. Ceci ne veut pas dire que les relevés à ce poste soient incorrects ou que le pluviomètre soit plus ou moins abrité de la pluie par un arbre ou un bâtiment. Il est fort possible que le site où il est installé ne voit jamais de très forts orages par suite de son exposition.

TABLEAU N° 1

NOMBRE d'AVERSES et PLUIE TOTALE à KANGABA

Année	de 0 à 10 mm	de 10 à 20 mm	de 20 à 30 mm	de 30 à 40 mm	de 40 à 50 mm	de 50 à 60 mm	de 60 à 70 mm	de 70 à 80 mm	de 80 à 90 mm	de 90 à 100 mm	Pluie totale	Nombre d'averses
1940	46	21	4	2		1					724,8	74
1941	52	16	7	4	4	1		1			1017,5	85
1942	62	19	7	3	1		1			1	992	94
1943	34	14	11	4	4	1		1			1055,1	69
1944	38	15	7	9	3	1	2				1156	75
1945	43	23	5	9	3	1	1	1			1287,6	86
1946	34	21	11		4	1		1	1		1023	72
1947	35	21	7	3	2						951,3	69
1948	32	13	7	6	2		1	1			977	62
1949	20	22	10	6	3	1			1	1	1289	64
1950	45	24	9	3	1	1		1			1108	84
1951	24	22	8	5	5	2					1185	66
1952	15	13	10	3	5	1	1				979,7	48
1953	11	15	8	5	2	1	5		1		1246,2	48
1954	11	18	5	7	8	2	1				1266,8	52
1955	32	20	13	4	3	1		1			1189,1	74
1956	49	14	9	8	2						977	82
1957	49	25	10	2	4	1	1	2			1393,6	94
1958	66	17	11	1	5	1			1		1212,1	102

TABLEAU N° 2
PLUS FORTES PRECIPITATIONS en 24 heures

Station	Date	Hauteur de Pluie
KANGABA	12/8/42	91,6
"	7/7/49	93
OULOLOSSEBOUGOU	30/4/54	85,8
"	7/8/56	83,2
FERENTOU MOU	27/8/54	94,4
"	28/7/55	93
"	19/8/55	95,8
BAMAKO aéro	14/8/32	116,2
"	2/6/53	106
"	18/8/53	107,5
"	3/9/53	151,6
"	27/8/54	163,3

TABLEAU N° 3
PLUS FORTES PRECIPITATIONS en 24 heures
sur le B.V. de KANGABA au cours de la Campagne 1960

Date	N° du pluviomètre	Hauteur de pluie
15/7/60	15	111,6
9/8/60	3	(110)
"	4	101,7
"	13	109,7
"	19	109,0
15/9/60	13	(157,4)
"	14	(114,4)

Pour l'année 1960, la hauteur de pluie totale observée, de Juin à Octobre, est de 1166 mm. Si on y ajoute les faibles averses précédant et succédant à la saison des pluies, n'admettant pour le bassin versant les mêmes hauteurs de précipitations qu'au pluviomètre de KANGABA en Mai, Juin, Octobre et Novembre, on arrive à un total de 1300 mm environ pour 1960 et en admettant que la valeur relative de l'excédent soit la même pour KANGABA que pour le bassin, on arrive à la conclusion que la hauteur de précipitation moyenne interannuelle sur le bassin est égale à

$$1300 \times \frac{1107}{1231} = \# 1170 \text{ mm}$$

Les pluviométries de fréquence décennale sèche et humide doivent être respectivement de 900 mm et 1550 mm pour un coefficient d'irrégularité interannuelle de 1,65.

Le diagramme de la répartition saisonnière ci-après a été établi en pondérant les valeurs établies à BAMAKO et KANKAN.

: J	: F	: M	: A	: M	: J	: J	: A	: S	: O	: N	: D	:
: 0	: 0	: 8	: 26	: 80	: 143	: 258	: 335	: 230	: 79	: 9	: 2	:

Or, en 1960, on peut, pour l'ensemble des bassins de la Koba à DEGUELA et le DJITIKO, donner les chiffres suivants :

<u>Juin</u>	<u>Juillet</u>	<u>Août</u>	<u>Septembre</u>
162 mm	391 mm	286 mm	277 mm

L'étude des précipitations mensuelles à KANGABA est peu significative. L'examen jour par jour des averses à cette station montre que, tout au moins, pour les précipitations mensuelles et journalières elle représente assez mal les phénomènes qui se passent sur le bassin.

Le mois de Septembre, le plus intéressant pour l'écoulement, est bien excédentaire, Juillet beaucoup moins favorable est très excédentaire, mais Août est nettement déficitaire, de sorte que les précipitations de Septembre arrivant dans des conditions pas très propices à l'écoulement n'ont pas pu donner lieu à de très fortes crues.

TABLeAU N° 4

PRECIPITATIONS les plus FORTES pour
5 JOURS CONSECUTIFS

Station de	Période du	Hauteur totale mm
KANGABA	12-16/8/42	138,1
"	4- 8/8/39	161,9
OULOLOSSEBOUGOU	4- 8/8/56	134,4
FERENTOU MOU	13-17/8/54	187,5
"	24-28/8/54	165,2
"	1- 5/8/58	171,8
BAMAKO	2- 6/9/50	163,4
"	1- 5/9/53	218
	23-27/8/54	211,9
B.V. de KANGABA (moyenne)	16-20/7/60	115
"	8-12/8/60	100,5

2 - Températures :

Nous ne possédons que les relevés de la période d'hivernage :

Juin		Juillet		Août	
de 7h à 19h	de 19h à 7h	de 7h à 19h	de 19h à 7h	de 7h à 19h	de 19h à 7h
29°6	25°	26°7	23°8	26°9	23°4
écart	4°6	écart	2°9	écart	3°5

mais nous pouvons remarquer que la température est relativement basse et que les écarts diurnes sont extrêmement faibles.

3 - Evaporation - Humidité

Bien des relevés sont malheureusement inutilisables. Mais nous voyons, à l'évaporomètre Piche, la baisse considérable d'évaporation pendant la saison des pluies.

du 5 au 30 Juin			Juillet			Août			Septembre		
d	n	t	d	n	t	d	n	t	d	n	t
66,0	18,1	84,1	44,3	9,7	54,0	42,8	7,6	50,4	43,6	7,7	51,3

d : diurne (en millimètres)

n : nocturne

t : totale

De même, de Juin à Août, nous suivons l'élévation du taux d'humidité U%, qui, la nuit, atteint de très fortes valeurs.

à	Juin	Juillet	Août
7h	92 %	96,6 %	97,1 %
15h	67,5 %	80 %	80 %
22h	87,3 %	90,3 %	94,7 %

C H A P I T R E III

EQUIPEMENT des BASSINS

Après une tournée préparatoire en saison sèche, l'hydrologue s'est installé à KANGABA au début du mois de Juin.

Le 13 Juin, les observations pluviométriques pouvaient commencer. Les installations comprenaient 3 pluviographes, dont un à NARENA et 18 pluviomètres répartis sur la totalité du bassin : 8 sur le bassin du DJITIKO et 10 sur celui de la KOBA. Leur implantation est assez irrégulière et pour certaines averses les relevés n'ont pas été effectués. Ceci est dû à l'absence de pistes carrossables et à l'impossibilité, lors de pluies importantes, d'atteindre certains pluviomètres.

Dans le chapitre précédent, nous avons signalé les valeurs les plus caractéristiques, tout en nous réservant d'étudier plus en détail certaines pluies dans les chapitres concernant l'étude hydrologique proprement dite.

A peu près à la même époque, les observations hydrologiques pouvaient débiter.

Comme nous l'avons déjà dit, les stations ont été installées au droit des ponts de la route endiguée de KENIEROBA à KANGABA. Les deux stations, à MADINA et DEGUELA, ont été pourvues d'une échelle limnimétrique et d'un limnigraphe Ott, type X, à enregistrement journalier. Les cotes des zéros ont été déterminées par un nivellement effectué par le Service du Génie Rural. Les observations se sont poursuivies sans interruption jusqu'au 20 Octobre.

La présence de ponts sans piles intermédiaires aux deux stations, a permis d'éviter la construction de passerelles de jaugeage.

Rappelons l'existence de la station météorologique de KANGABA possédant un évaporomètre, des thermomètres secs et humides, un anémomètre.

C H A P I T R E I V

ANALYSE de l'ECOULEMENT du DJITIKO à MADINA

A) DETERMINATION des DEBITS :

Une seule station de jaugeage a été retenue pour ce bassin. La section de jaugeages se trouve au droit du pont de la route KENIEROBA - KANGABA, dont les piles sont distantes de 4,90 m. Lors de crues importantes, ce débouché s'étant révélé insuffisant, il a naturellement été nécessaire d'effectuer des mesures dans les zones de débordements.

Entre 0,12 m et 2,41 m, 29 mesures de débits ont été effectuées. Elles sont récapitulées dans le tableau N° 5, Courbe d'étalonnage (graph. 4).

Les appareils ayant été mis en place avant les premières tornades, les basses eaux sont très bien connues, des jaugeages ayant été effectués dès les premiers écoulements du 3 et du 10 Juillet. Le bas de la courbe de tarage est donc d'une précision très satisfaisante. Pour les hautes eaux, notamment pour la crue du 10 au 11 Août, le problème est plus complexe et la précision moindre étant donné les zones de débordement. Cependant, le soin méticuleux apporté à la réalisation de ces mesures en garantit l'exactitude.

Une extrapolation à des hauteurs d'eau supérieures est même possible grâce à la formule de Manning :

$$V = K \ R^{2/3} \ I^{1/2}$$

L'application de cette formule nous permet d'aboutir aux éléments hydrauliques consignés dans le tableau N° 6. La courbe donnant $K_1 = \frac{Q}{S \cdot R^{2/3}}$ en fonction de la hauteur

(I supposé constant en première approximation) figure en haut du graphique représentant la courbe de tarage. Cette

TABLEAU N° 5

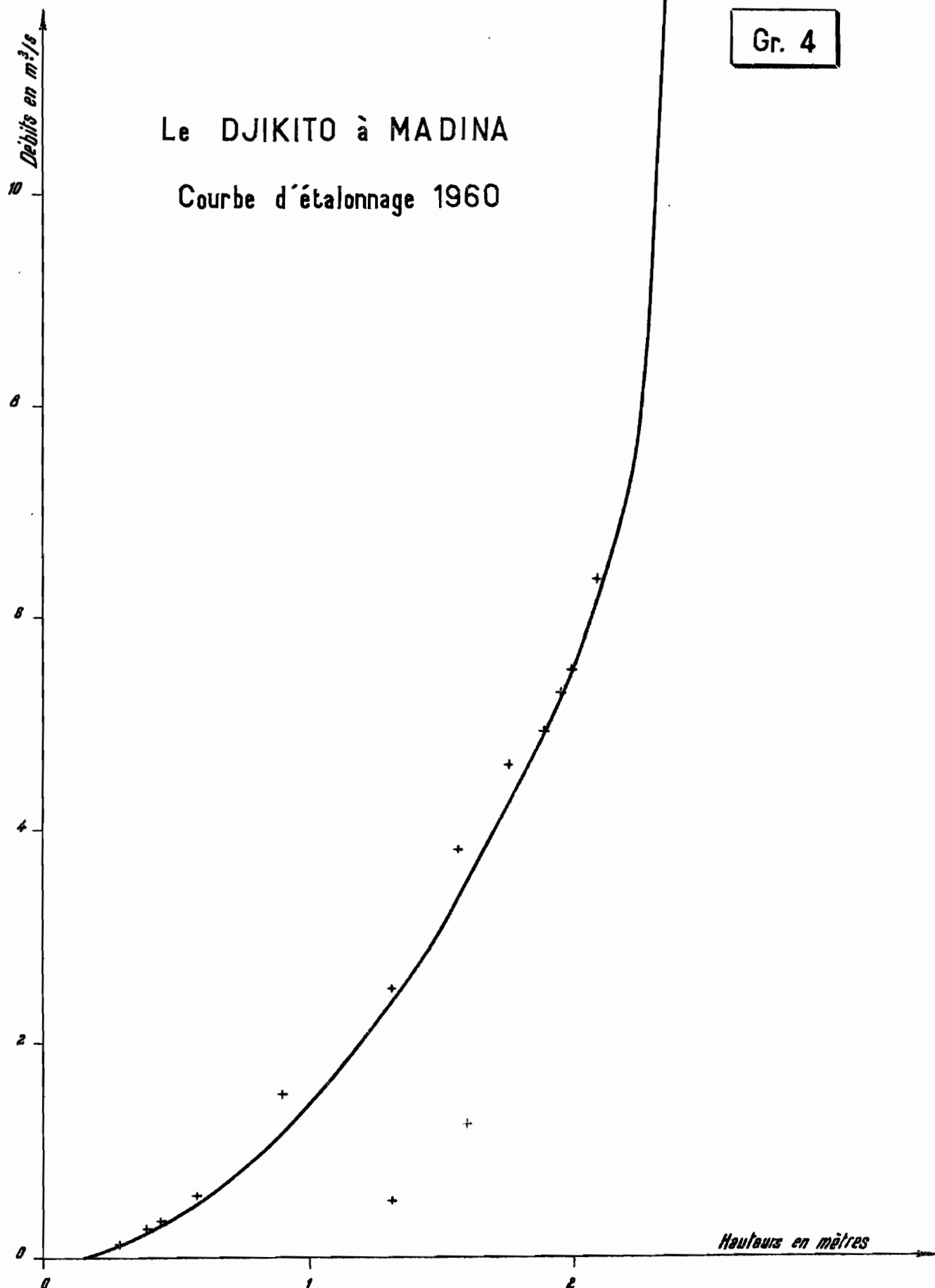
BASSIN VERSANT du DJITIKO
Liste des jaugeages à la station de MADINA

N°	Date	Hm	Q m ³ /s	Observations
1	3/7/60	0,275	0,1188	décru
2	"	0,125	0,0126	"
3	10/7/60	0,21	0,0720	"
4	11/7/60	0,39	0,2880	"
5	14/7/60	0,17	0,0545	"
6	16/7/60	0,58	0,5640	"
7	"	0,44	0,3480	"
8	18/7/60	1,43	2,7820	"
9	"	1,34	2,5480	"
10	"	1,56	3,8320	crue
11	"	1,88	4,9560	"
12	"	1,95	5,1800	"
13	"	1,99	5,5080	étale
14	19/7/60	0,905	1,5300	décru
15	"	0,755	1,1580	"
16	23/7/60	0,66	0,8050	"
17	1/8/60	1,73	4,8360	crue
18	"	2,05	6,3400	"
19	"	2,07	6,1520	décru
20	"	1,75	4,5620	"
21	10/8/60	2,33	7,7070	crue lente
22	"	2,41	15,1190	crue
23	11/8/60	2,37	7,8939	décru
24	13/8/60	0,86	1,0380	"
25	30/9/60	1,60	1,0000	"
26	4/10/60	1,345	0,5210	"
27	7/10/60	0,85	0,4570	"
28	9/10/60	0,42	0,4400	étale
29	25/10/60	0,31	0,1762	"

Gr. 4

Le DJIKITO à MADINA

Courbe d'étalonnage 1960



dernière a permis d'établir le barème hauteurs-débits utilisé pour transformer les limnigrammes en hydrogrammes.

Signalons dès à présent certains jaugeages (N° 25, 26, 27) qui paraissent aberrants; il y a là un problème que nous essaierons de résoudre par la suite. Notons que, pour certaines périodes de l'année, il faudra utiliser un barème hauteurs-débits différent correspondant aux dates auxquelles ont été effectuées ces mesures. Citons par exemple les premiers jours du mois d'Octobre. Il en résultera certaines difficultés dans l'établissement des volumes écoulés durant cette période.

Quelle est l'étendue des périodes pendant lesquelles l'écoulement du DJITIKO est anormal ? Pour répondre à cette question, il faut en chercher les causes.

On s'aperçoit, en reportant sur le graphique 4bis les cotes absolues du DJITIKO à MADINA et de la KOBa à DEGUELA, que celles de cette dernière sont supérieures à celles du DJITIKO pendant une période assez longue. La différence entre les deux niveaux peut devenir telle qu'il peut y avoir un "phénomène de remous" ce qui apporte un frein à la vidange normale du bassin du DJITIKO dont les eaux sont gênées dans leur écoulement par ce véritable "barrage hydraulique".

On peut difficilement évaluer de façon précise à quel moment se produit ce phénomène. Ce que l'on peut dire c'est que, lors du jaugeage N° 25 du 30/9, la cote critique est dépassée, et on peut affirmer :

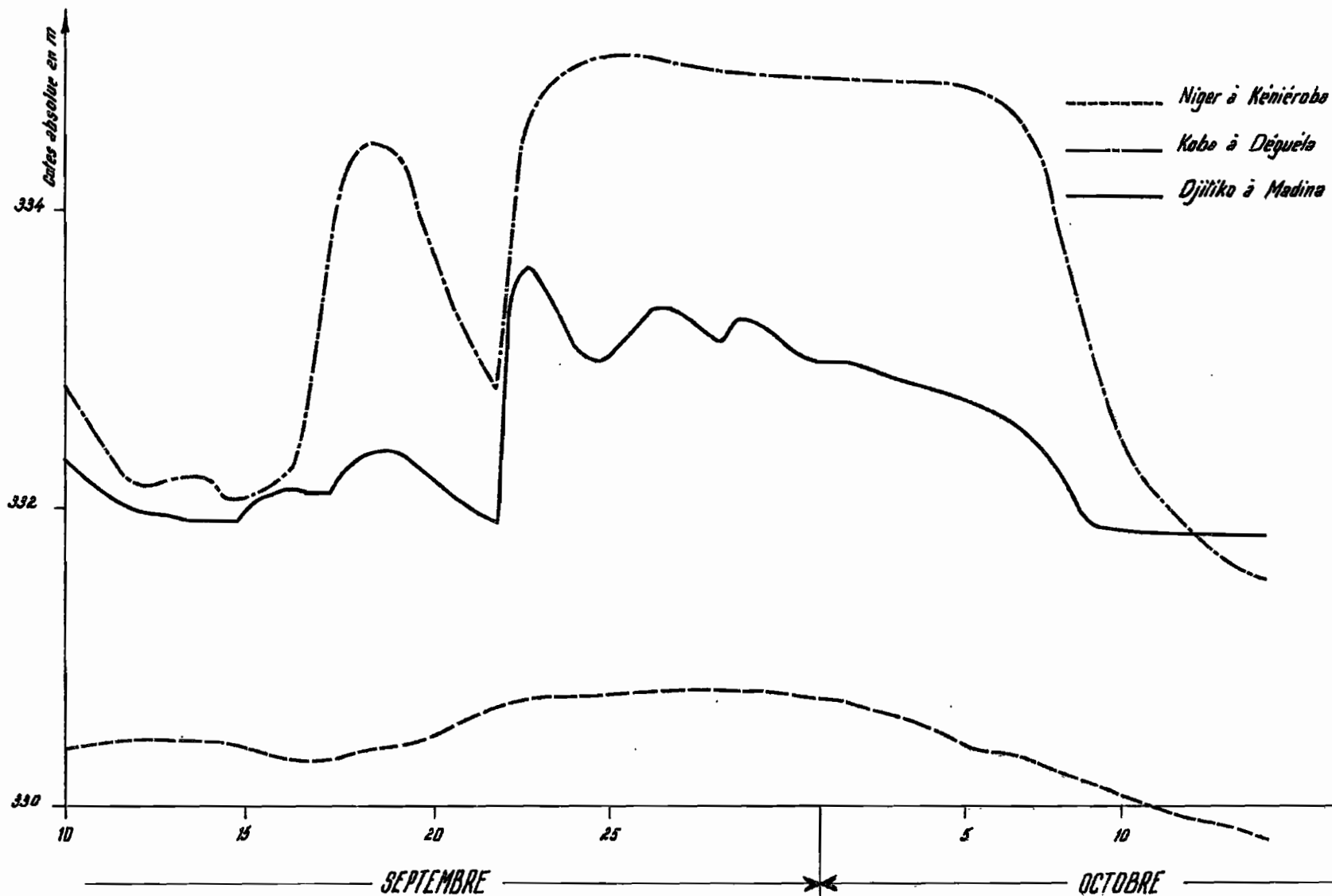
$$D_H < 1,86 \text{ m}$$

La fréquence des jaugeages ne nous permettant pas de préciser davantage, nous allons essayer de déterminer ce que l'on pourrait appeler la "cote d'alerte" de la KOBa, au-dessus de laquelle la courbe d'étalonnage établie pour le DJITIKO n'est plus valable. Pour cela nous possédons heureusement deux jaugeages, le N° 27, du 7/10, aberrant, et le N° 28, du 9/10, où nous sommes à nouveau en régime normal. La hauteur critique se situe entre ces deux jaugeages. Le 7/10, à 8h du matin, la KOBa débite $29 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une hauteur à l'échelle de 6,3 m. Le DJITIKO débite $0,457 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une hauteur de 0,85 m, alors que le 9/10 il débite $0,440 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une hauteur de 0,42 m.

C R S T C M
A0
DATE : 28.01.1961
DESSINÉ : J. B. L. L.
MAL 51 063

BASSIN VERSANT DE KANGABA

COTES ABSOLUES ENTRE LE 10 SEPTEMBRE ET 13 OCTOBRE 1960



Gr. 4 bis

TABLEAU N° 6

ELEMENTS HYDRAULIQUES à la STATION de MADINA

N° des jauges	Date	H _m	Section: mouillée m ²	Péri- mètre en m	R = $\frac{S}{P}$	R ^{2/3}	S.R ^{2/3}	Q m ³ /s	K ₁ = $\frac{Q}{S.R^{2/3}}$	Vitesse U m/s	Vit. moy.	K ₂ = $\frac{U}{V}$
											superf. V m/s	
1	3/7/60	0,275	1,546	5,52	0,280	0,418	0,646	0,1188	0,184	0,077	0,119	0,647
6	16/7/60	0,58	2,950	6,22	0,474	0,608	1,793	0,348	0,195	0,118	0,254	0,464
14	19/7/60	0,905	4,771	6,94	0,687	0,777	3,707	1,530	0,412	0,320	0,368	0,896
8	18/7/60	1,43	7,311	7,96	0,918	0,944	6,901	2,782	0,403	0,380	0,408	0,931
11	"	1,88	9,338	8,71	1,072	1,048	9,786	4,956	0,506	0,530	0,532	0,996
13	"	1,99	9,985	8,98	1,112	1,107	11,053	5,508	0,498	0,551	0,532	1,035
18	1/8/60	2,05	10,165	9,10	1,117	1,108	11,262	6,340	0,563	0,623	0,579	1,076

D'après la forme des limnigrammes du DJITIKO, nous situons le passage du régime de remous au régime normal le 8/10 à 8h. Nous avons alors pour la Koba :

$$H = 5,3 \text{ m}$$

$$Q = 21,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

La différence critique est :

$$D_H = 1,20 \text{ m}$$

On en déduit les périodes pendant lesquelles la station de MADINA est affectée par le remous de la Koba :

- du 17/9 au 20/9 compris
- du 23/9 au 7/10 compris

Nous allons calculer les débits et les volumes écoulés en nous aidant des éléments hydrauliques des jaugeages 25, 26 et 27, effectués pendant cette période. Ils sont résumés dans le tableau N° 7. Il semble qu'une erreur se soit glissée dans l'établissement du jaugeage 26. En effet, alors que la profondeur maximale est de 1,30 m, la lecture à l'échelle est de 1,345 m. Nous lui accordons donc assez peu de valeur.

En appliquant la formule :

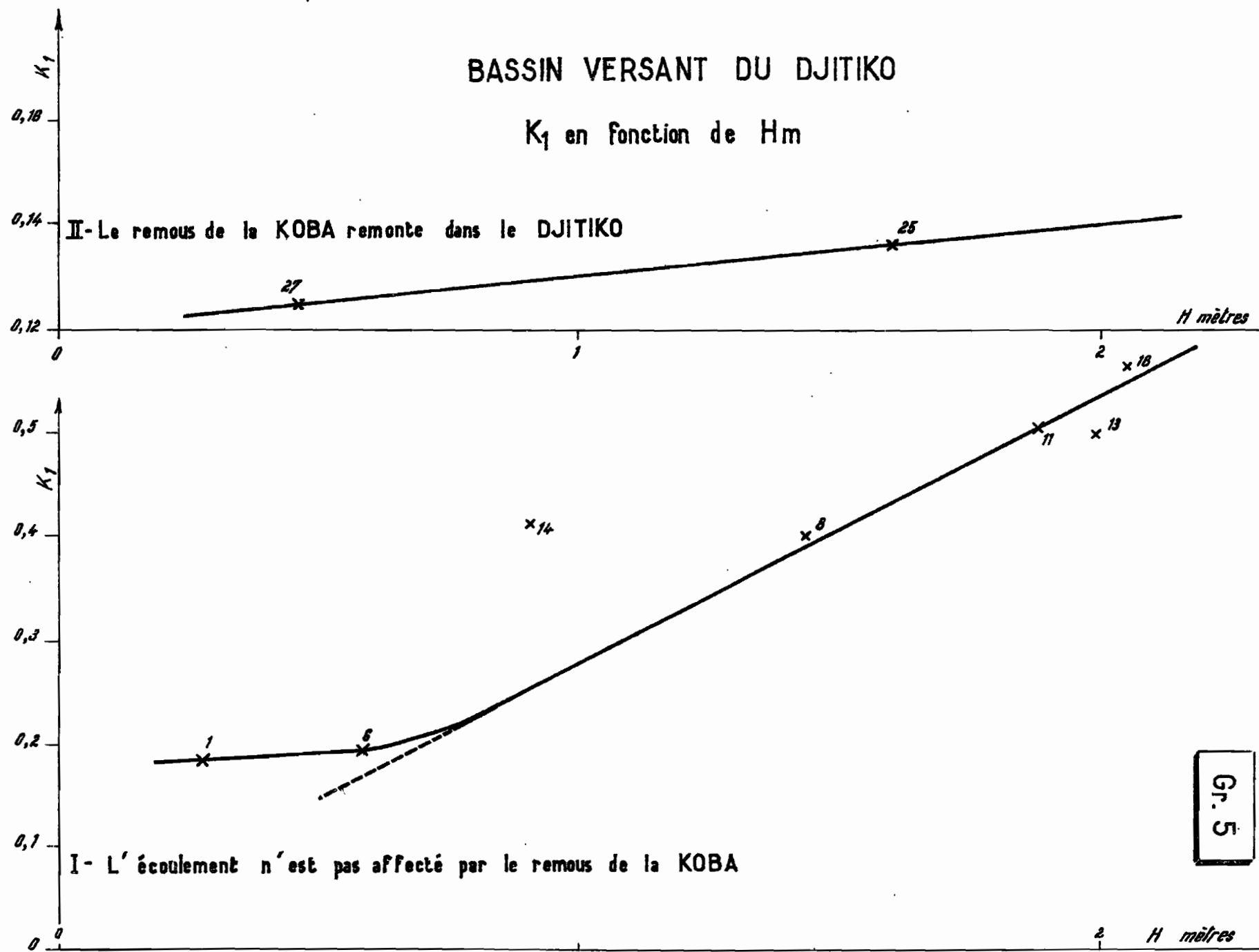
$$Q = K_1 S R^{2/3}$$

et à l'aide des courbes de K_1 en fonction de H (gr.5) et de $S.R^{2/3}$ en fonction de H (gr.6), nous pouvons trouver les débits correspondants et établir le barème hauteurs-débits en période de remous, consigné dans le tableau N° 8. Ceci suppose que la racine carrée de la pente I varie peu pour les dernières crues observées pendant les périodes citées plus haut. C'est à peu près le cas. Il faut dire également que les crues du DJITIKO pendant cette période sont peu importantes et qu'il n'est pas nécessaire de les connaître avec une grande précision. On trouvera dans le tableau N° 9 le barème hauteurs-débits pour l'écoulement normal.

Sur le graphique N° 7, les débits moyens journaliers sont représentée par un trait chaque jour.

BASSIN VERSANT DU DJITIKO

K_1 en fonction de H_m

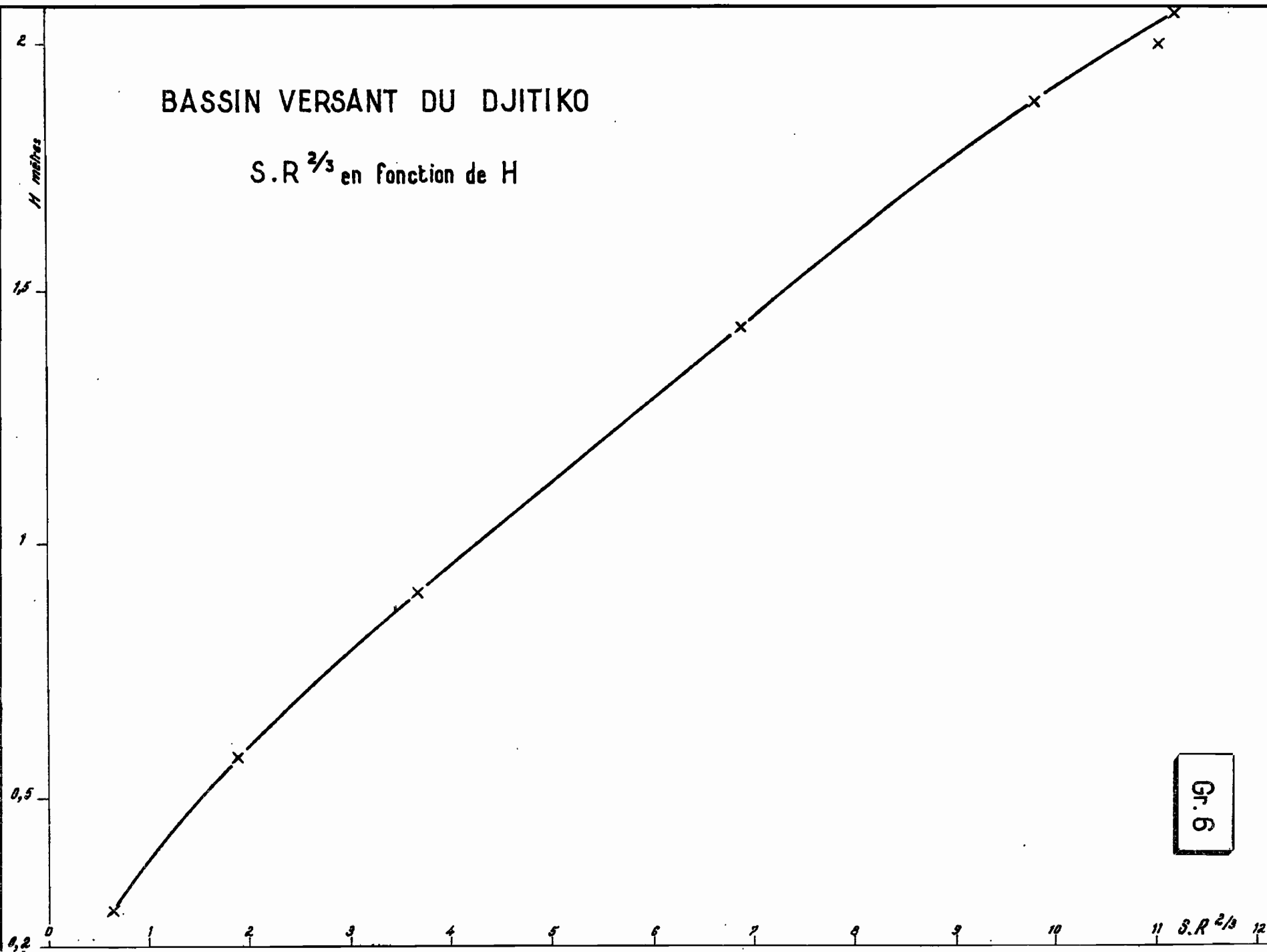


Gr. 5

CRISTOY
A0
DATE : 20-05-1965
DESSINÉ : J. MATHIEU
MAI 51 065

BASSIN VERSANT DU DJITIKO

S.R.^{2/3} en fonction de H



Gr. 6

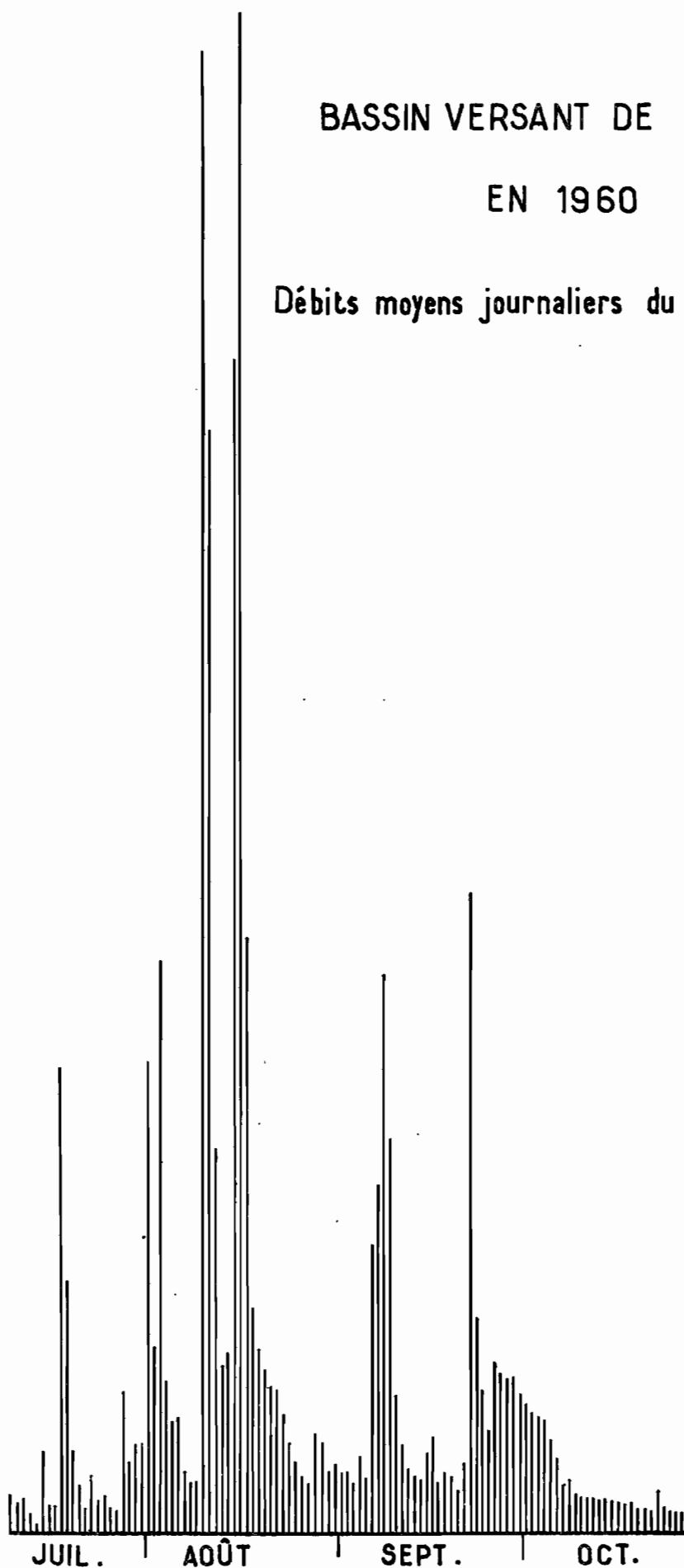
Gr. 7

BASSIN VERSANT DE KANGABA

EN 1960

Débits moyens journaliers du Djitiko à Madina

Débits en m^3/s



ORSTOM

Ao

DATE : 10-10-1960

DESSINÉ : J. B. B. B.

MAL 51 066

TABIEAU N° 7

ELEMENTS HYDRAULIQUES des JAUGEAGES en PERIODE de "REMOUS"

STATION de MADINA

N° des : jau- geages :	Date :	H _m :	Section : mouillée : m ² :	Péri- mètre : en m :	R = $\frac{S}{P}$:	$R^{2/3}$:	S.R ^{2/3} :	Q m ³ /s :	$K_1 = \frac{Q}{S.R^{2/3}}$:	Vitesse : moy. : U m/s :	Vitesse : moyenne : V m/s :	$K_2 = \frac{U}{V}$:
25	30/9/60	1,60	7,59	7,98	0,95	0,966	7,332	1,00	0,136	0,132		
26	4/10/60	(1,345)	6,048	7,40	0,814	0,871	5,268	0,52	0,099	0,083		
27	7/10/60	0,85	4,665	6,63	0,703	0,790	3,685	0,46	0,125	0,027		

() improbable

TABLEAU N° 8

BAREME HAUTEURS-DEBITS en période de "remous"

H _m	Q	K	S.R ^{2/3}	Q	H _m	Q	K	S.R ^{2/3}	Q
normal					normal				
0,4	0,280	0,124	1,16	0,144	1,20	2,240	0,132	5,49	0,725
0,45	0,365	0,1245	1,37	0,170	1,25	2,405	0,1325	5,79	0,768
0,5	0,450	0,125	1,58	0,197	1,30	2,570	0,133	6,10	0,811
0,55	0,550	0,1255	1,79	0,225	1,35	2,735	0,1335	6,41	0,856
0,6	0,650	0,126	2	0,252	1,40	2,900	0,134	6,72	0,900
0,65	0,765	0,1265	2,28	0,288	1,45	3,100	0,1345	7,03	0,946
0,7	0,880	0,127	2,56	0,325	1,50	3,300	0,135	7,35	0,992
0,75	1,000	0,1275	2,84	0,363	1,55	3,500	0,1355	7,66	1,043
0,8	1,120	0,128	3,12	0,399	1,60	3,700	0,136	7,98	1,095
0,85	1,245	0,1285	3,40	0,436	1,65	3,935	0,1365	8,30	1,132
0,9	1,370	0,129	3,67	0,473	1,70	4,150	0,137	8,63	1,182
0,95	1,515	0,1295	3,97	0,514	1,75	4,375	0,1375	8,95	1,231
1,00	1,660	0,130	4,28	0,556	1,80	4,600	0,138	9,27	1,279
1,05	1,805	0,1305	4,58	0,597	1,85	4,850	0,1385	9,62	1,334
1,10	1,950	0,131	4,88	0,639	1,90	5,100	0,139	9,96	1,384
1,15	2,095	0,1315	5,19	0,682	1,95	5,350	0,1395	10,35	1,494
1,20	2,240	0,132	5,49	0,725	2,00	5,600	0,140	10,74	1,504

TABLEAU N° 9
Le DJITIKO à MADINA
BAREME D'ETALONNAGE en PERIODE NORMALE

$H_m : Qm^3/s$	$H_m : Qm^3/s$	$H_m : Qm^3/s$	$H_m : Qm^3/s$	$H_m : Qm^3/s$	$H_m : Qm^3/s$
:0,10:0,001	:0,49:0,433	:0,88:1,320	:1,27:2,471	:1,66:3,970	:2,05:5,900
:0,11:0,006	:0,50:0,450	:0,89:1,345	:1,28:2,504	:1,67:4,015	:2,06:5,960
:0,12:0,012	:0,51:0,470	:0,90:1,370	:1,29:2,537	:1,68:4,060	:2,07:6,020
:0,13:0,019	:0,52:0,490	:0,91:1,399	:1,30:2,570	:1,69:4,105	:2,08:6,080
:0,14:0,026	:0,53:0,510	:0,92:1,428	:1,31:2,603	:1,70:4,150	:2,09:6,140
:0,15:0,033	:0,54:0,530	:0,93:1,457	:1,32:2,636	:1,71:4,195	:2,10:6,200
:0,16:0,040	:0,55:0,550	:0,94:1,486	:1,33:2,669	:1,72:4,240	:2,11:6,260
:0,17:0,047	:0,56:0,570	:0,95:1,515	:1,34:2,702	:1,73:4,285	:2,12:6,320
:0,18:0,054	:0,57:0,590	:0,96:1,544	:1,35:2,735	:1,74:4,330	:2,13:6,380
:0,19:0,061	:0,58:0,610	:0,97:1,573	:1,36:2,768	:1,75:4,375	:2,14:6,440
:0,20:0,068	:0,59:0,630	:0,98:1,602	:1,37:2,801	:1,76:4,410	:2,15:6,500
:0,21:0,076	:0,60:0,650	:0,99:1,631	:1,38:2,834	:1,77:4,455	:2,16:6,560
:0,22:0,084	:0,61:0,673	:1,00:1,660	:1,39:2,867	:1,78:4,510	:2,17:6,620
:0,23:0,093	:0,62:0,696	:1,01:1,689	:1,40:2,900	:1,79:4,555	:2,18:6,680
:0,24:0,102	:0,63:0,719	:1,02:1,718	:1,41:2,940	:1,80:4,600	:2,19:6,740
:0,25:0,111	:0,64:0,742	:1,03:1,747	:1,42:2,980	:1,81:4,650	:2,20:6,800
:0,26:0,120	:0,65:0,765	:1,04:1,776	:1,43:3,020	:1,82:4,700	:2,21:6,870
:0,27:0,129	:0,66:0,788	:1,05:1,805	:1,44:3,060	:1,83:4,750	:2,22:6,940
:0,28:0,138	:0,67:0,811	:1,06:1,834	:1,45:3,100	:1,84:4,800	:2,23:7,010
:0,29:0,148	:0,68:0,834	:1,07:1,863	:1,46:3,140	:1,85:4,850	:2,24:7,080
:0,30:0,160	:0,69:0,857	:1,08:1,892	:1,47:3,180	:1,86:4,900	:2,25:7,150
:0,31:0,172	:0,70:0,880	:1,09:1,921	:1,48:3,220	:1,87:4,950	:2,26:7,220
:0,32:0,184	:0,71:0,904	:1,10:1,950	:1,49:3,260	:1,88:5,000	:2,27:7,290
:0,33:0,196	:0,72:0,928	:1,11:1,979	:1,50:3,300	:1,89:5,050	:2,28:7,360
:0,34:0,208	:0,73:0,952	:1,12:2,008	:1,51:3,340	:1,90:5,100	:2,29:7,430
:0,35:0,220	:0,74:0,976	:1,13:2,037	:1,52:3,380	:1,91:5,150	:2,30:7,500
:0,36:0,232	:0,75:1,000	:1,14:2,066	:1,53:3,420	:1,92:5,200	:2,31:7,620
:0,37:0,244	:0,76:1,024	:1,15:2,095	:1,54:3,460	:1,93:5,250	:2,32:7,740
:0,38:0,256	:0,77:1,048	:1,16:2,124	:1,55:3,500	:1,94:5,300	:2,33:7,860
:0,39:0,268	:0,78:1,072	:1,17:2,153	:1,56:3,540	:1,95:5,350	:2,34:7,980
:0,40:0,280	:0,79:1,096	:1,18:2,182	:1,57:3,580	:1,96:5,400	:2,35:8,100
:0,41:0,297	:0,80:1,120	:1,19:2,211	:1,58:3,620	:1,97:5,450	:2,36:8,300
:0,42:0,314	:0,81:1,145	:1,20:2,240	:1,59:3,660	:1,98:5,500	:2,37:8,500
:0,43:0,331	:0,82:1,170	:1,21:2,273	:1,60:3,700	:1,99:5,550	:2,38:9,500
:0,44:0,348	:0,83:1,195	:1,22:2,306	:1,61:3,745	:2,00:5,600	:2,39:11,000
:0,45:0,365	:0,84:1,220	:1,23:2,339	:1,62:3,790	:2,01:5,660	:2,40:13,000
:0,46:0,382	:0,85:1,245	:1,24:2,372	:1,63:3,835	:2,02:5,720	:2,41:15,000
:0,47:0,399	:0,86:1,270	:1,25:2,405	:1,64:3,880	:2,03:5,780	:2,42:17,000
:0,48:0,413	:0,87:1,295	:1,26:2,438	:1,65:3,925	:2,04:5,840	:
:	:	:	:	:	:

B) CARACTERISTIQUES de l'ÉCOULEMENT

Pendant la période d'observation, la première pluie enregistrée se situe le 14 Juin. Si l'on en juge d'après les relevés pluviométriques de KANGABA, il n'a pas plu pendant les mois précédents.

Le DJITIKO qui est un cours d'eau temporaire est alors tari. La première manifestation d'un écoulement à MADINA a lieu le 3 Juillet à 3h30 du matin, le tarissement se produisant 20 h plus tard. La pluie du 7 au 8 Juillet est très intense. En une demi-heure, il tombe entre 10 et 40 mm sur le bassin du DJITIKO. Cependant, il n'y a aucun écoulement à MADINA. La tournée effectuée le 8 au matin révèle que le DJITIKO coule dans la rizière du TIKO où, pourtant, vu la largeur de la plaine, il n'y a pratiquement pas de lit mineur. L'eau est claire ; il ne peut s'agir que d'un ruissellement retardé en provenance des cuirasses environnantes.

L'écoulement ne sera vraiment continu qu'à partir du 10 Juillet. La description de cette crue* nous édifie sur le rôle (déjà soupçonné le 8/7) des croûtes latéritiques.

- Le 10/7 - Pluie à 6h15
Arrivée de l'eau à 13h après 6h45 de parcours
 $t_m = 2h30$ $t_p = 9h15$
- Le 10/7 - Pluie à 21h15
Arrivée de l'eau à 1h20 après 4h05 de parcours
 $t_m = 2h30$ $t_p = 6h45$
- Le 11/7 - Pluie à 2h30
Remontée du niveau à 4h40 après 2h10 de parcours
 $t_m = 3h$ $t_p = 5h30$

On voit que si, la montée est assez rapide, le délai de transmission de l'onde de crue est long, bien que se réduisant de plus en plus. D'autre part, ces crues restent pratiquement étales, la décrue n'atteignant que quelques centimètres. Cela nous incite à croire qu'il n'y a pas véritablement ruissellement mais uniquement un écoulement hypodermique de base.

Il n'y a manifestation d'un véritable ruissellement qu'à partir de la mi-Juillet, bien que ces volumes ruisselés soient quasiment négligeables par rapport aux per-

* Cette crue, comme les deux suivantes, n'intéresse qu'une partie du B.V. et le t_m est très inférieur à la valeur correspondant à un ruissellement généralisé.

tes par évaporation et par infiltration. On s'en aperçoit fort bien en examinant la crue du 15 au 16 Juillet, exemple de crue "latéritique" où, faisant suite à la première bosse représentant le volume ruisselé, on trouve une seconde bosse correspondant à l'eau emmagasinée par les couches latéritiques.

Il faut attendre la fin du mois de Juillet et le début d'Août pour que, les pluies abondantes ayant suffisamment saturé les terrains, le ruissellement se généralise et devienne important.

Jusqu'au 6 Octobre, le débit de base restera alors supérieur à $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$, deux crues particulièrement violentes fournissant des débits moyens journaliers supérieurs à $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Au début d'Octobre, les pluies commencent à être plus faibles et moins fréquentes. Malgré la présence de la pluie de 20 mm du 21 Octobre, le tarissement s'effectue assez régulièrement. Les observations ayant cessé le 27 Octobre, on doit établir graphiquement l'étiage absolu qui se situerait le 4 ou le 5 Novembre (gr.8). Dans l'établissement du bilan hydrologique, cette imprécision a cependant peu d'importance, vu le volume minime écoulé durant cette période.

On trouvera dans le tableau n° 10 les débits et les volumes journaliers écoulés, les périodes du 27 Octobre au 31 Octobre et du 1er au 4 Novembre étant groupées.

Les éléments constitutifs du bilan hydrologique du DJITIKO sont consignés dans le tableau n° 11. Ce bilan encadre la période d'écoulement du DJITIKO, c'est-à-dire de Juillet au début de Novembre 1960.

Ce bilan, malgré l'imprécision due aux perturbations occasionnées par la "période de remous" et malgré l'absence de la courbe de tarissement jusqu'à l'étiage absolu, peut prétendre à une précision acceptable, les volumes écoulés pendant ces périodes étant très faibles.

L'année 1960 étant une année moyenne du point de vue de la pluviométrie, on peut donc donner au bassin versant du DJITIKO, pour une période d'écoulement comprise entre le début de Juillet et le début de Novembre, les caractéristiques suivantes :

TABLEAU N° 10

BASSIN VERSANT du DJITIKO

Volumes écoulés et débits journaliers à MADINA

Date	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre					
	Volumes	Qm3/s	Volumes	Q m3/s	Volumes	Qm3/s	Volumes	Qm3/s	Vol.écou					
	écoulés	moy.	écoulés	moy.	écoulés	moy.	écoulés	moy.	lé en m3					
1			326	300	3,780	42	500	0,493	88	990	1,030	(6500)		
2			128	500	1,488	42	700	0,496	83	610	0,970			
3			395	500	4,570	33	000	0,382	82	510	0,955			
4			104	200	1,207	52	800	0,612	76	900	0,890			
5			79	000	0,915	37	600	0,436	64	460	0,745			
6			80	900	0,935	199	200	2,311	51	840	0,600			
7			43	800	0,507	240	000	2,780	32	830	0,380			
8			33	000	0,382	385	200	4,470	40	610	0,470			
9			35	200	0,407	270	000	3,124	27	820	0,322			
10	10	800	0,339	1	024	000	11,850	95	500	1,105	25	660	0,297	
11	22	100	0,255		760	000	8,800	60	500	0,700	24	190	0,280	
12	23	800	0,276		264	000	3,060	45	000	0,520	24	190	0,280	
13	14	055	0,168		116	000	1,342	38	800	0,450	24	190	0,280	
14	7	430	0,086		127	200	1,473	38	800	0,450	23	670	0,274	
15	56	950	0,660		810	000	9,388	55	800	0,646	22	120	0,256	
16	18	500	0,214	1	050	000	12,180	66	000	0,765	20	560	0,238	
17	19	500	0,226		408	000	4 727	32	400	0,375	19	530	0,226	
18	323	900	3,736		157	000	1,819	41	900	0,485	18	470	0,214	
19	172	200	1,995		127	000	1,471	40	180	0,465	17	450	0,202	
20	59	000	0,680		111	000	1,284	29	380	0,340	14	860	0,172	
21	31	850	0,370		103	200	1,195	48	500	0,561	13	910	0,161	
22	16	920	0,196		98	000	1,134	442	000	5,120	34	130	0,395	
23	40	200	0,475		81	200	0,941	131	330	1,520	17	970	0,208	
24	23	620	0,274		62	400	0,722	97	630	1,130	15	900	0,184	
25	25	310	0,293		49	200	0,570	68	690	0,795	15	380	0,178	
26	16	920	0,196		39	400	0,456	115	260	1,334	13	820	0,160	
27	16	400	0,190		33	000	0,382	110	770	1,282	12	360	0,143	
28	99	700	1,153		70	200	0,813	108	860	1,260				
29	92	100	1,068		63	200	0,733	107	570	1,245	(38500)			
30	105	700	1,213		43	200	0,500	95	040	1,100				
31	104	000	1,203		46	600	0,540							
Tot.	1 300	955			6 870	200		3 172	910		946	430		(6 500)

+ période de remous

() estimé

TABLEAU N° 11
BILAN HYDROLOGIQUE du DJITIKO (82 km²) en 1960

Mois	Pluie moy. en mm	Volume des pluies 10 ³ m ³	Volume écoulé 10 ³ m ³	Lame d'eau écoulée en mm	Ke %	Débit mensuel m ³ /jour	Débit mensuel m ³ /s
Juillet	352,8	28 930	1 301	15,8	4,6	59 140	0,68
Août	242,2	19 860	6 870,2	83,7	34,5	221 620	2,55
Septembre	227,1	18 622	3 172,9	38,7	17	105 760	1,22
Octobre	(30)	(2 460)	946,5	11,5	38,5	31 550	0,36
Novembre			(6,5)				
Bilan de Juillet à Novembre	852,1	69 872	12 297,1	149,7	17,6	104 500	1,2 ou 14,6 l/s.km ²
Bilan de Janvier à Décembre	(1300)	(107 000)	12 197,1	149,7	(11)	(34 600)	(0,4) ou (4,9 l/s.km ²)

() estimé

- débit moyen de $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ou une valeur spécifique de $14,6 \text{ l/s.km}^2$ ($0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $4,9 \text{ l/s.km}^2$ pour l'année entière),

- lame d'eau écoulée de $149,7 \text{ mm}$, soit 12 millions 300 mille m^3 environ,

- déficit d'écoulement de $702,4 \text{ mm}$ (ou 1150 mm environ pour l'année)

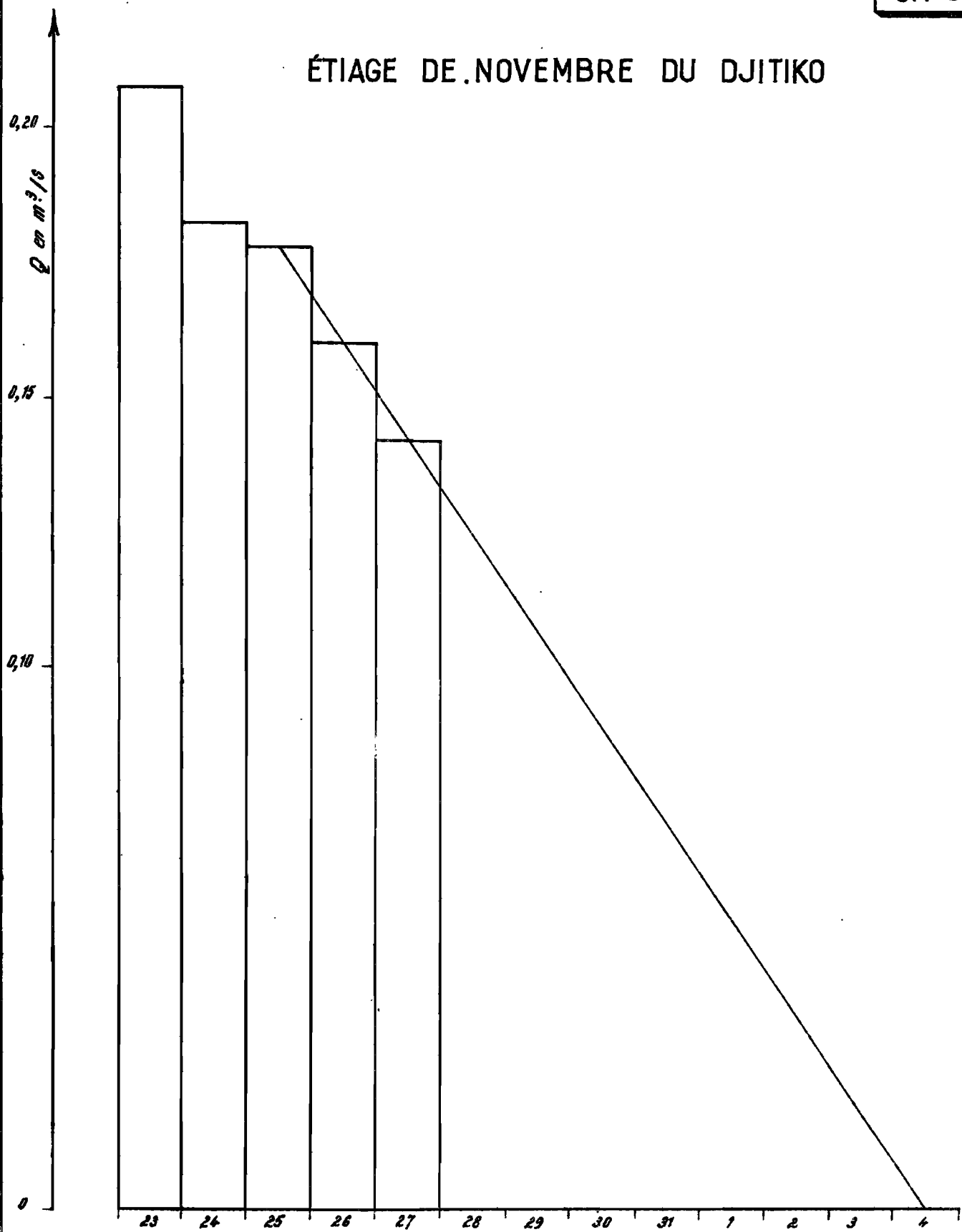
- coefficient d'écoulement de $17,6 \%$ (ou 11% environ pour une période de 12 mois).

Pour des années exceptionnellement déficitaires ou excédentaires, de fréquence décennale par exemple, cette seule année d'observation ne peut nous permettre d'extrapoler jusqu'à des conclusions précises. Cependant, les études comparables, réalisées sur des bassins du même ordre peuvent donner une idée valable des variations possibles. Pour cette même période de l'année, on peut envisager dans des conditions exceptionnelles :

- des volumes écoulés de 4 (année décennale sèche) à 25 millions de m^3 (année décennale humide)

- des coefficients d'écoulement de 6 et 25% .

ÉTIAGE DE NOVEMBRE DU DJITIKO



c) PROCESSUS de FORMATION des CRUES - ETUDE des PRINCIPALES CRUES

Il faut tout d'abord déterminer les averses qui ont assez d'ampleur pour engendrer un ruissellement. Nous allons le faire en fonction des deux variables principales : la hauteur de pluie moyenne et l'intervalle à la pluie précédente (ta). Des 45 averses ou groupes d'averses non séparables observés entre le 2 Juillet et le 21 Octobre, nous allons tirer la valeur d'une certaine précipitation limite, en deçà de laquelle il n'y a pas ruissellement.

Le tableau N° 12 et le graphique N° 9 ont permis de déterminer cette précipitation limite en fonction de ta. On s'aperçoit que le seuil n'est franchi que lorsqu'on a une hauteur d'eau moyenne minimale de 10 mm répartie sur la totalité du bassin. S'il n'y a pas eu de pluie depuis 24h, la pluie moyenne doit être égale ou supérieure à 13 mm et si l'averse précédente a eu lieu 5 jours auparavant, la pluie moyenne doit être au minimum de 20 mm. Ces chiffres correspondent à un bassin d'une assez grande perméabilité.

La genèse des crues en région latéritisée a été minutieusement étudiée. Le rapport général de M. P. DUBREUIL sur l'"Etude hydrologique de bassins versants en Côte d'Ivoire" traite particulièrement de la dualité structurale caractéristique de ces bassins latéritiques. Le processus de formation peut se résumer succinctement en rappelant que :

- en amont, sur le plateau cuirassé à faible pente, l'infiltration est prépondérante. Le ruissellement ne peut s'effectuer que si le sol est préalablement saturé par des pluies abondantes. En général, cette saturation n'est obtenue qu'en certains points du bassin amont. Le ruissellement est lent et donne des hydrogrammes aplatis. Ce fait est encore aggravé par la nature particulière du réseau hydrographique. La carte du bassin montre que depuis l'émissaire principal du plateau, qui est d'ailleurs la source du DJI-TIKO, jusqu'à la station de jaugeage, le trajet est anormalement long, ce qui retarde et aplatit davantage les crues issues des plateaux.

- en aval, sur des sols moins perméables, le ruissellement abondant et rapide donne des hydrogrammes courts et à pointe de crue nettement marquée.

O R S T O M

A 0

DATE : 20-11-1964

DESSINÉ : J. L. L. L.

MAL 51. 068

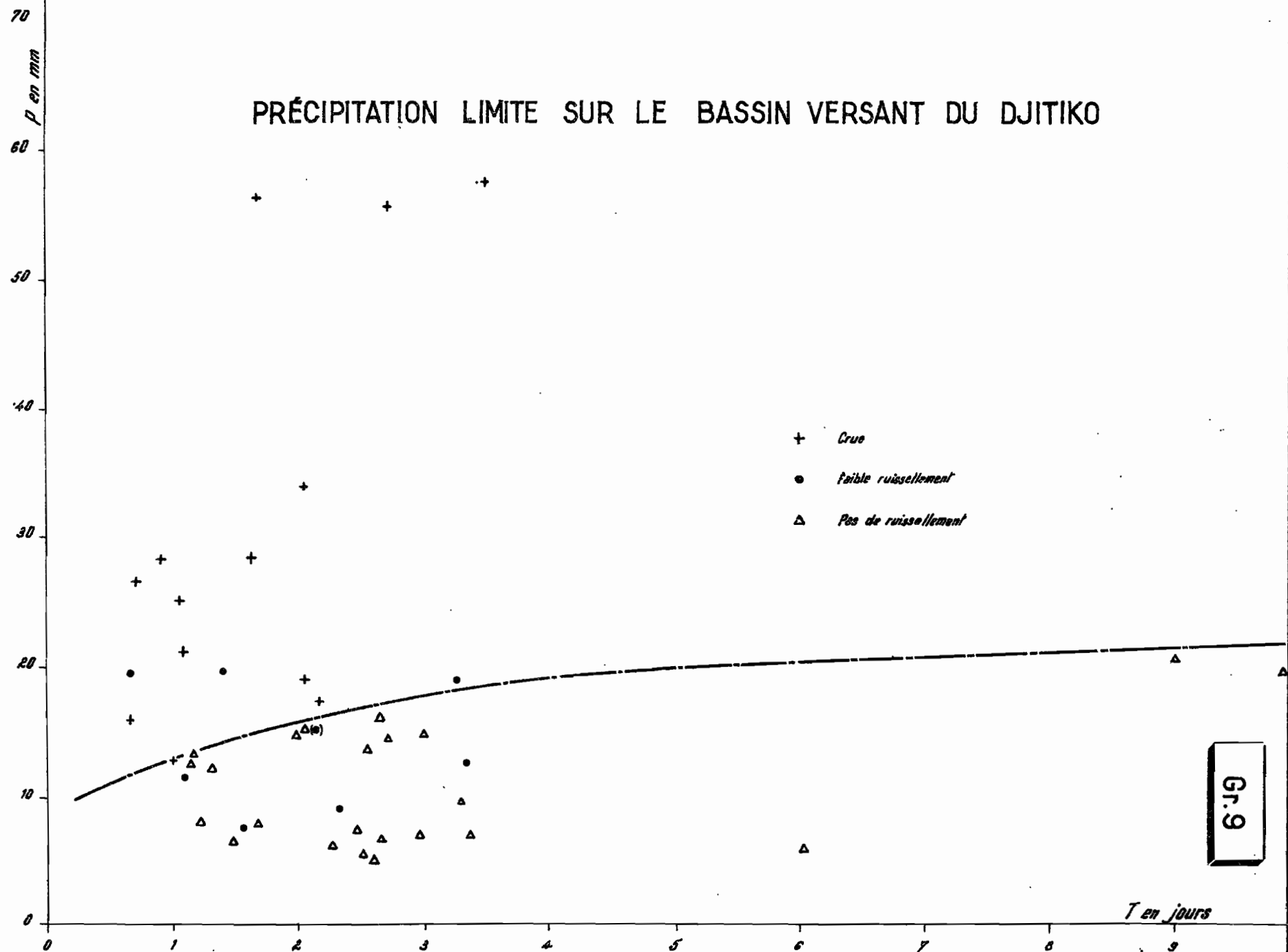


TABLEAU N° 12

PRECIPITATION LIMITE sur le B.V. du DJITIKO
en 1960

Date & heure	Intervalle à la pluie précédente	Hauteur de pluie moyenne provoquant		
		crue + E	faible ruissel.	pas de ruissel. Δ N
2/7/60 à 0h	1 j	25 mm		
3 3h	1 j 3 h			13,1 mm
6 2h	2 j 23 h			7,0 mm
7 15h	1 j 13 h	pas de limnigramme ($P_M = 21,5$)		
8 20h	1 j 5 h			7,9 mm
10 6h	1 j 10 h		19,8 mm	
10 22h	1 j 16 h		19,7 mm	
12 0h	1 j 2 h		11,5 mm	
15 5h	2 j 22 h	28,6 mm ⁺		
17 22h	2 j 17 h	55,5 mm ⁺		
19 22h	2 j			14,8 mm
22 2h	2 j 4 h	17,4 mm ⁺		
24 17h	2 j 15 h			6,7 mm
27 8h	2 j 15 h			16,0 mm
28 1h	1 j 17 h	26,6 mm ⁺		
29 8h	1 j 7 h			12,0 mm
30 0h	1 j 16 h	15,8 mm ⁺		
31 17h	1 j 17 h	28,4 mm ⁺		
2/8/60 à 9h	1 j 2 h	21,2 mm ⁺		
4 17h	2 j 8 h		8,9 mm	
8 0h	3 j 7 h			9,7 mm
10 4h	2 j 4 h	74 mm ⁺		
13 15h	3 j 11 h			13,7 mm
15 7h	1 j 16 h	56,3 mm ⁺		
17 21h	2 j 14 h			4,8 mm
21 4h	3 j 7 h			14,8 mm
24 13h	3 j 9 h			6,8 mm
27 21h	3 j 8 h	12,4 mm		
30 14h	2 j 17 h			14,3 mm
2/9/60 à 2h	2 j 2 h			5,7 mm
4 3h	2 j 1 h	19 mm		
6 4h	2 j 1 h	34 mm ⁺		
7 4h	1 j	12,8 mm		
13 5h	6 j 1 h			6,2 mm
14 19h	1 j 14 h			7,5 mm
16 6h	1 j 11 h			6,2 mm
18 12h	2 j 6 h			6,1 mm
22 0h	3 j 12 h	57,6 mm		
25 6h	3 j 6 h			
27 7h	2 j 1 h			14,9 mm
29 18h	2 j 11 h			7,0 mm
30 21h	1 j 3 h			12,6 mm
11/10/60 à 17h	11 j 20 h			4,0 mm
21 15h	9 j 22 h			20,6 mm

Averses étudiées

En réalité, l'observation directe des hydrogrammes de ces deux parties n'est pas très fréquente car elle demande des précipitations assez abondantes et localisées. Le plus souvent, sur un petit bassin versant, comme c'est le cas ici, nous avons à faire à des pluies plus homogènes qui concourent à la genèse des crues où les deux ruissellement interfèrent pour donner des hydrogrammes de type mixte avec deux bosses d'importance relative inégales.

Enfin, dans le cas d'averses homogènes et fortes rencontrant des conditions de saturation convenables, tout le bassin ruisselle abondamment et on ne trouve plus qu'une seule pointe avec, cependant, une légère déformation au début et à la fin de la crue qui rappelle la dualité de l'alimentation. Ce cas correspond à la théorie classique des hydrogrammes unitaires.

Pour cette étude, nous avons retenu dix crues qui se divisent comme suit :

1°- Une crue du premier type : la crue n° 1 (graphique 10 bis). Elle débute le 15 Juillet, alors que les sols sont encore peu saturés et que le débit de base du DJITIKO est faible. La partie Nord-Ouest du bassin n'a pas dû ruisseler et il reste donc uniquement le bassin Est de l'amont et le bassin aval. On peut scinder cette crue en deux parties :

a) La première pointe de crue (1 A) où le temps de réponse est faible, peut être considérée comme due exclusivement au ruissellement sur les pentes et les talwegs de la partie aval.

b) La deuxième pointe (1 B), très retardée et d'allure beaucoup plus aplatie, est due aux eaux de ruissellement de l'amont.

Les temps de réponse et de montée n'auront pas de signification.

2°- Une crue purement hypodermique et n'intéressant probablement qu'une partie du bassin : la crue n° 3.

3°- Quatre crues provoquées presque totalement par le ruissellement lent d'amont ainsi qu'il ressort de l'examen des isohyètes : crues n° 5 - 6 - 7 - 10, auxquelles on peut rattacher la crue 1 B. Ce sont des crues régulières

au temps de réponse long et à temps de montée court comme il est normal pour un ruissellement partiel.

4°- Quatre crues où le bassin a ruisselé en totalité : n° 2 - 4 - 8 - 9. Parmi celles-ci on peut encore distinguer :

a) la crue n° 4 où une averse très homogène aboutit à la conjugaison des flots amont et aval en un flot unique, sans distinction possible des deux ondes initiales,

b) les crues 8 et 9 (graphique 10 ter), dans lesquelles le ruissellement important de l'aval entraîne une montée très rapide de l'hydrogramme suivie d'une période d'attente avant l'arrivée du flot d'amont. Les averses fortes et homogènes ont donné lieu au véritable hydrogramme type du bassin avec son temps de montée correct.

Cet hydrogramme type a été obtenu en comparant les crues n° 8 et 9, abstraction faite des déformations du début et de la fin des crues. Il donne les valeurs du débit de ruissellement, calculées de part et d'autre de la pointe de crue et exprimées en m³/s (tableau 12 bis),

c) la crue 2 dans laquelle on peut séparer deux pointes de crues. L'averse étant homogène dans le temps, on peut attribuer la première au ruissellement aval et l'amorce de la seconde à l'arrivée de l'onde de crue venant de l'amont du bassin.

L'analyse de ces dix crues a permis de rassembler leurs caractéristiques dans le tableau n° 13.

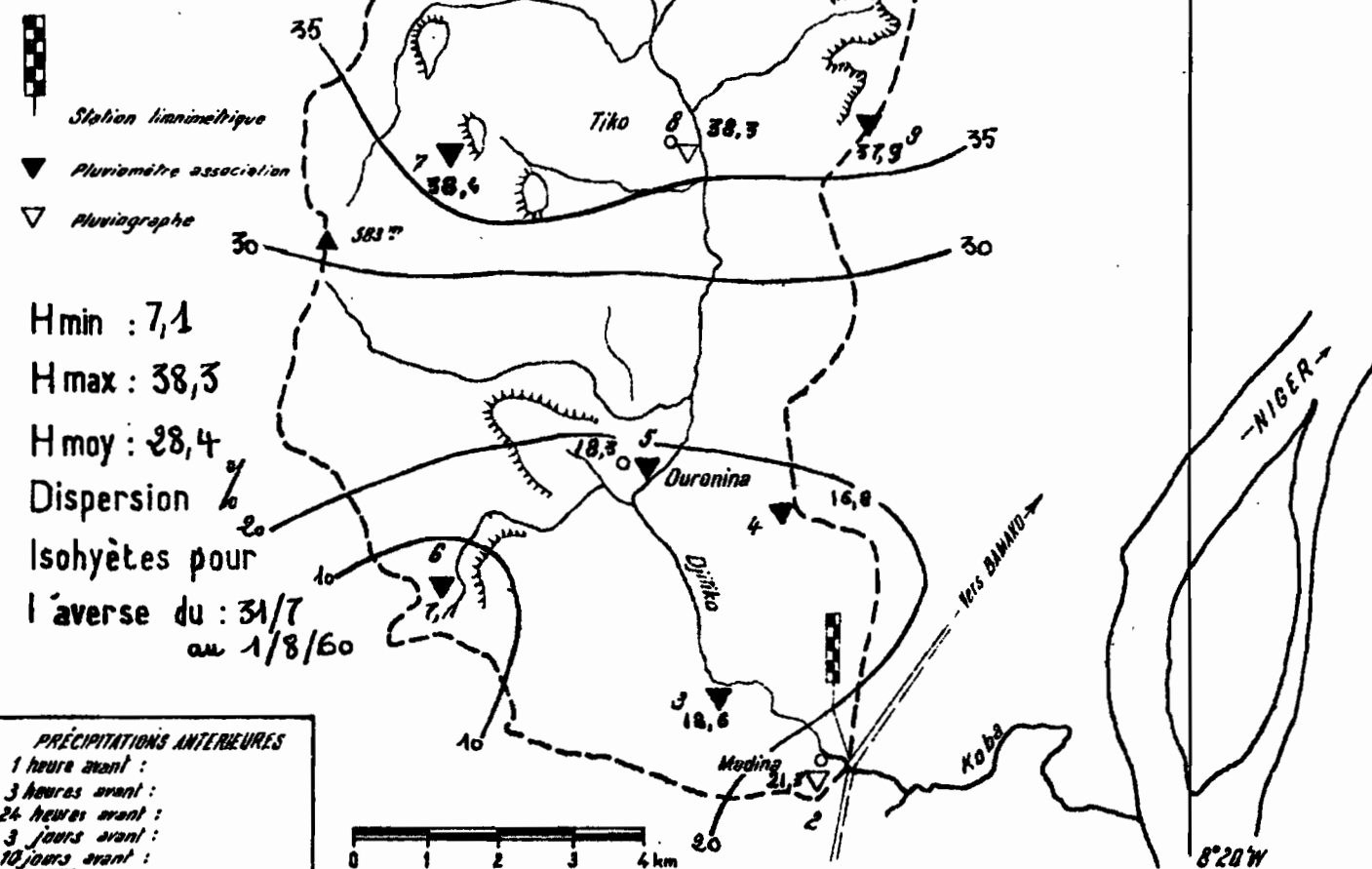
Nous allons définir ces caractéristiques :

- | | | |
|----------|---|---|
| P_M | - | Pluie maximale ponctuelle relevée sur la totalité du bassin versant |
| P | - | Pluie moyenne sur le bassin |
| K en % | - | Coefficient d'abattement de la pluie ou rapport de P à P_M |
| t_a | - | Intervalle de temps en jours et heures qui sépare l'averse étudiée de la précédente |

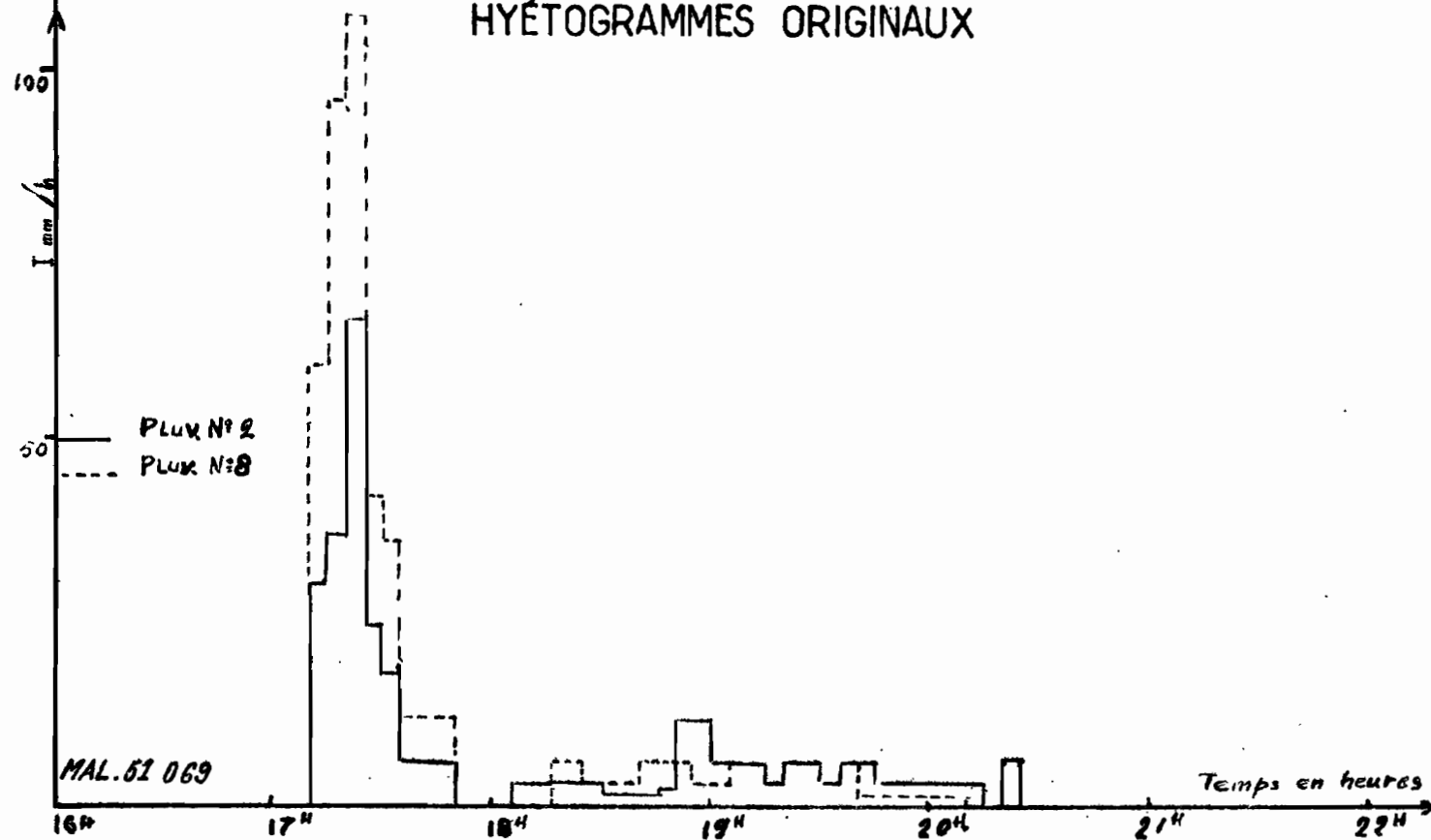
- P_u - Hauteur de pluie utile ou fraction de l'averse dont les intensités peuvent raisonnablement entraîner un ruissellement
- T_u - Durée de la pluie utile
- V_R - Volume ruisselé
- t_m - Temps de montée de l'hydrogramme ou espace de temps séparant le début et le maximum de la crue
- t_p - Temps de réponse de l'hydrogramme ou durée s'écoulant entre le milieu de l'averse utile et le maximum de la crue
- Q_0 - Débit initial avant la crue. Il caractérise avec t_a l'état de saturation préalable du sol
- Q_M - Débit maximal de la crue
- K_R - Coefficient de ruissellement calculé par rapport à la pluie totale
- K_{RU} - Coefficient de ruissellement calculé par rapport à la pluie utile.

BASSIN VERSANT DU DJITIKO A MADINA

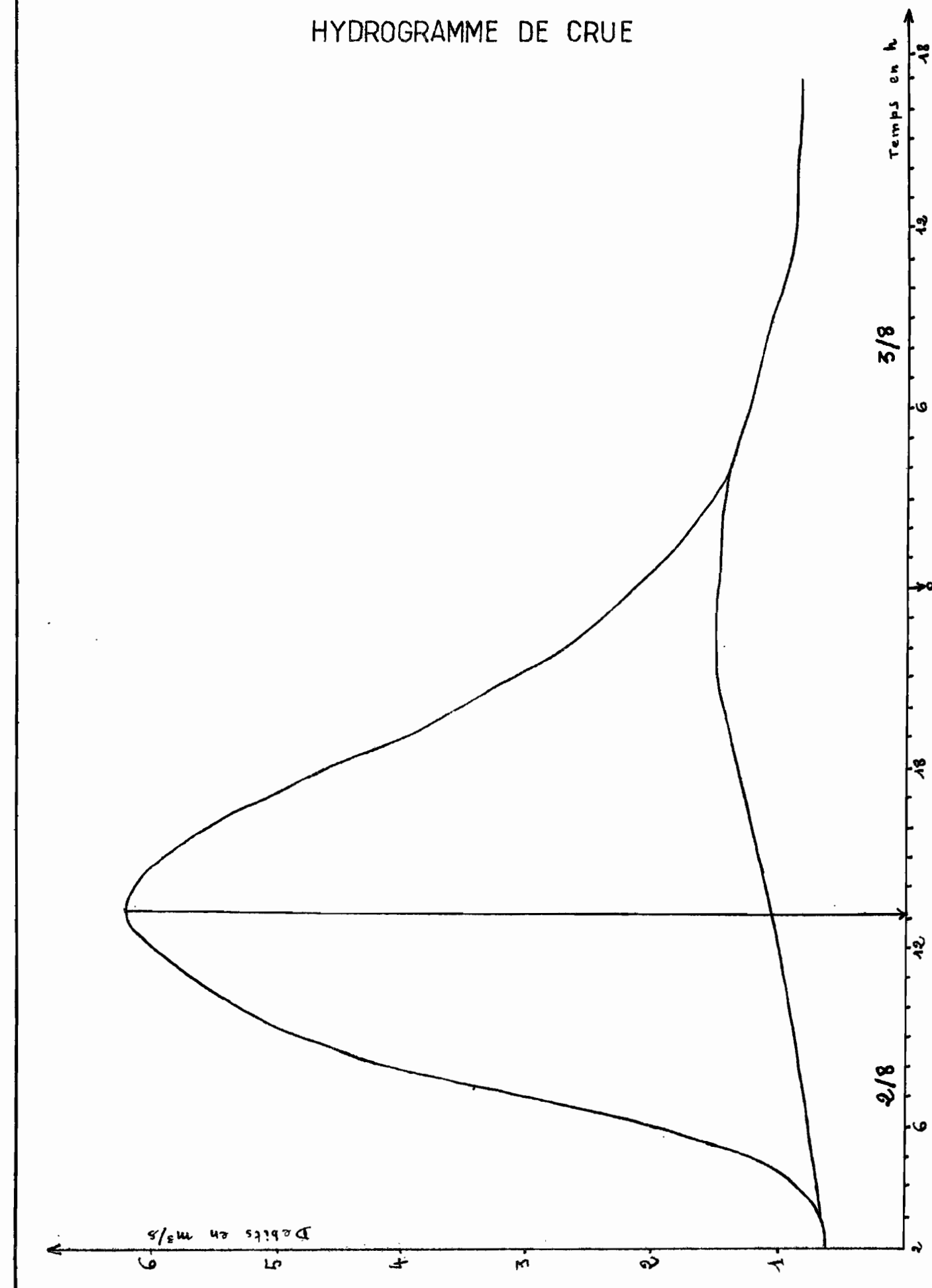
Gr. 10



HYÉTOGRAMMES ORIGINAUX



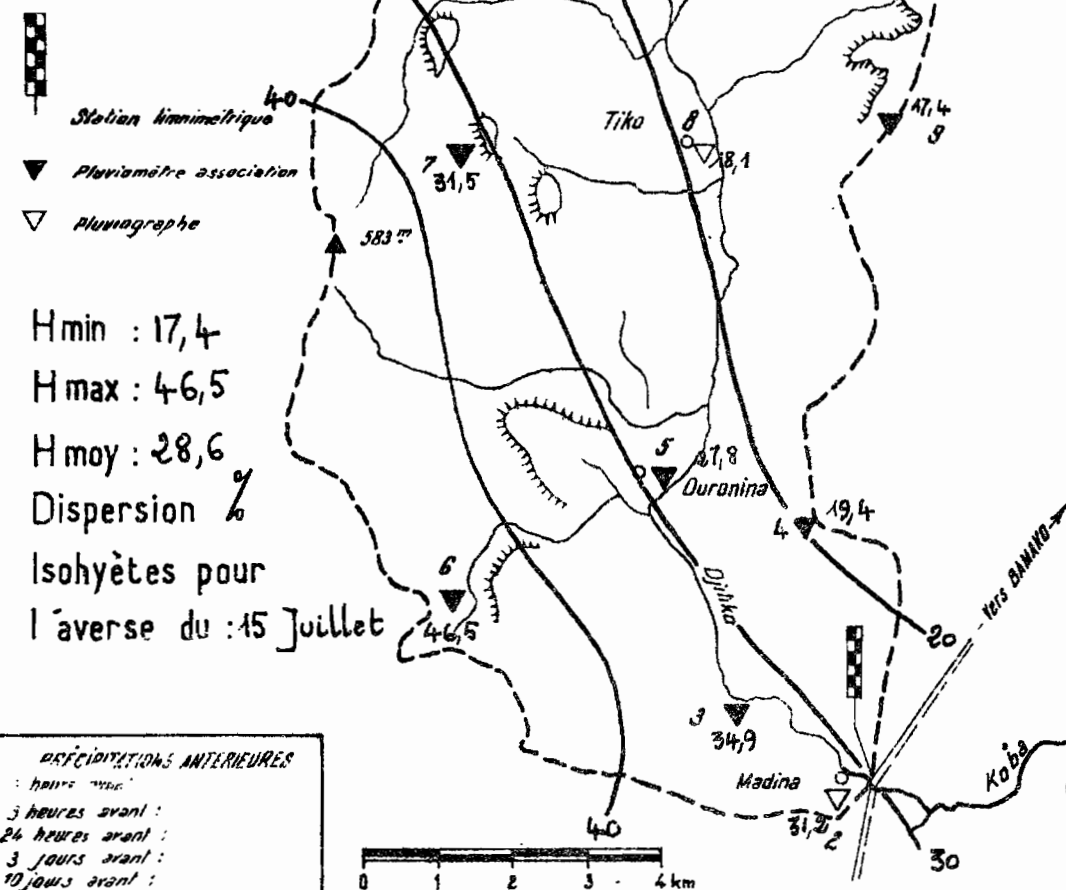
HYDROGRAMME DE CRUE



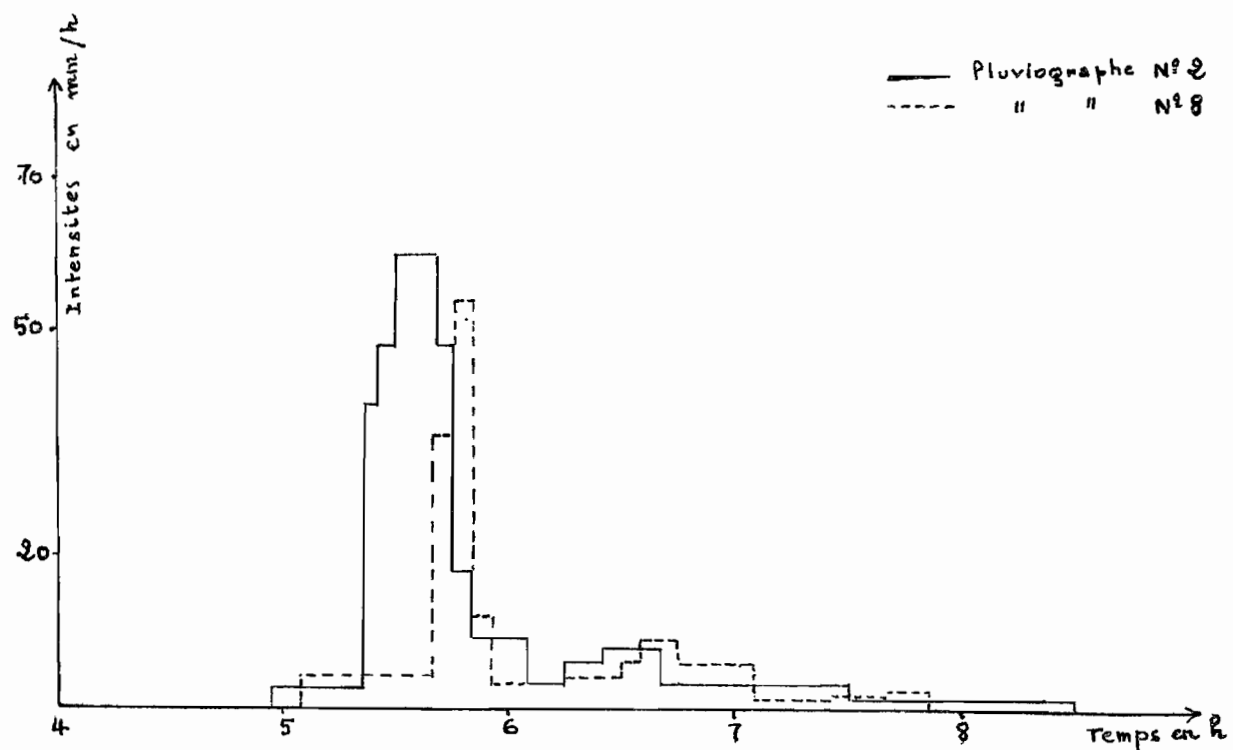
BASSIN VERSANT DU DJITIKO A MADINA

Gr. 10 bis

12°10'N

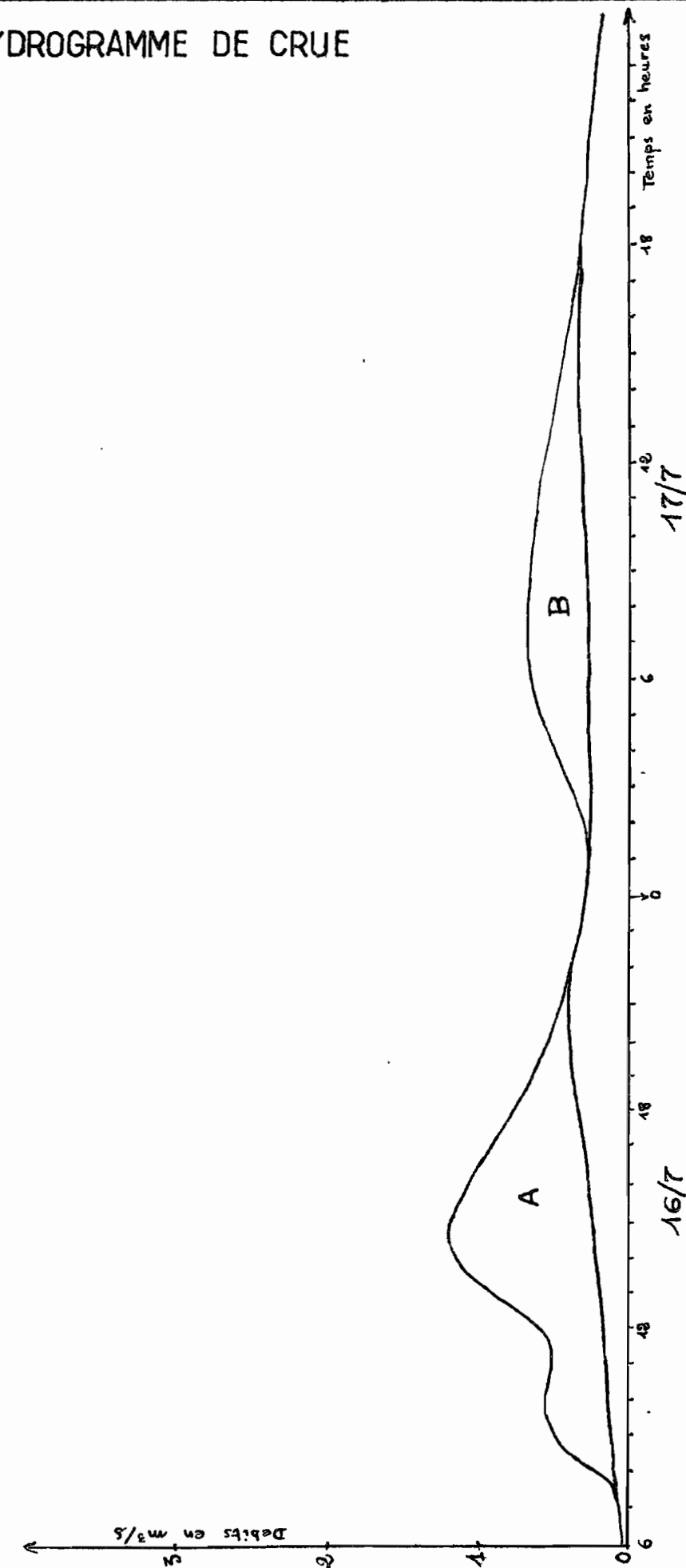


HYÉTOGRAMMES ORIGINAUX



MAL 51.070

HYDROGRAMME DE CRUE



BASSIN VERSANT DU DJITIKO A MADINA

Gr. 10 ter

12°10'N

- Station limnologique
- Pluviomètre association
- Pluviographe

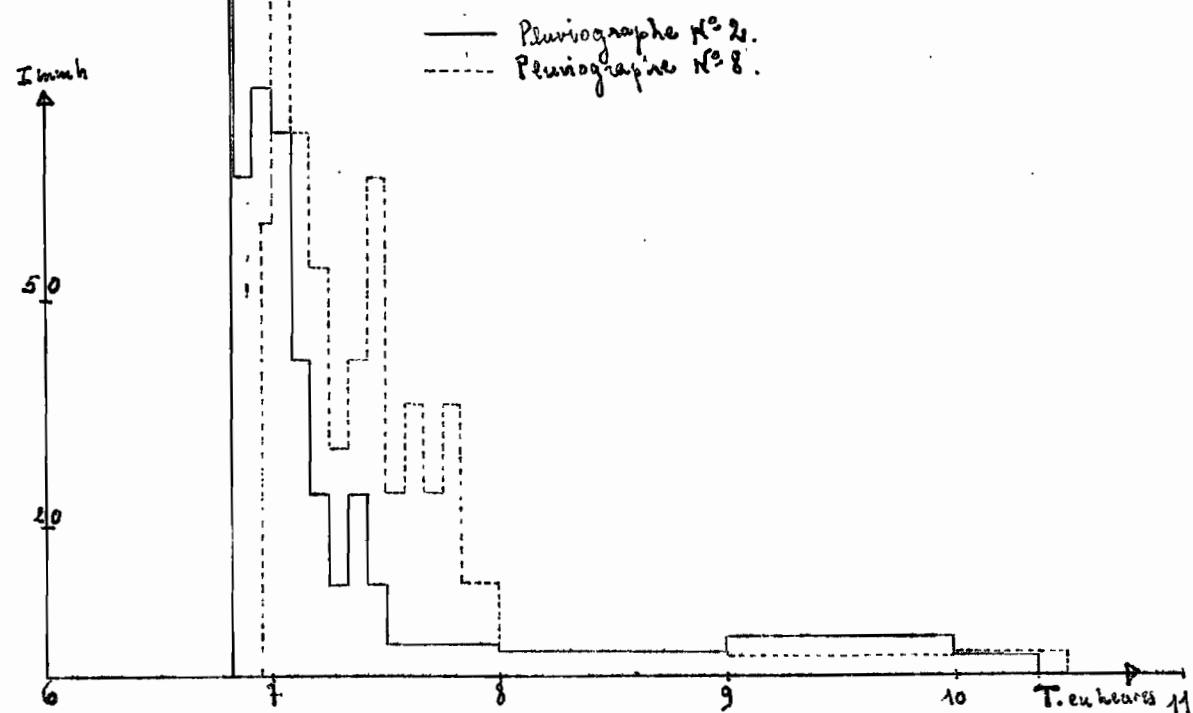
Hmin : 41,9
Hmax : 63,5
Hmoy : 56,3
Dispersion %
Isohyètes pour
l'averse du :
15 Août 1960.

PRÉCIPITATIONS ANTERIEURES
1 heure avant :
3 heures avant :
24 heures avant :
3 jours avant :
10 jours avant :

0 1 2 3 4 km

8°20'W

HYÉTOGRAMMES ORIGINAUX



HYDROGRAMME DE CRUE

$Q m^3/s$

32

30

15

10

5

2

1

0

15/8

16/8

17/8

Temps en h

TABLEAU N° 13

VALEURS CARACTERISTIQUES des PRINCIPALES CRUES du DJITIKO à MADINA (82 km²)

N°	Date	P _M mm	P mm	K%	t _a en j & h	P _u mm	T _u mn	V _R 103m ³	t _m heures	t _p heures	Q ₀ m ³ /s	Q _M m ³ /s	K _R %	K _{RU} %
1	15/7/60	46,5	28,6	61,5	22h	20,4	52	38,16					1,6	2,25
3	22/7/60	23,5	17,4	74,0	2j 4h	0	0	0	8h 10'	27h 40'	0,208	0,9	0	0
5	30/7/60	25,3	15,8	62,4	16h	12,8	30	32,4	9h	23h 15'	0,742	1,8	2,5	3,04
6	1/8/60	38,3	28,4	74,1	1j 17h	18,6	32	222,24	10h 20'	19h 46'	0,650	6,2	9,5	14,56
7	2/8/60	35,2	21,2	60,2	1j 2h			284,5	9h 20'		0,976	6,5	16,3	
10	6/9/60	58,3	34	58,3	2j 1h	23,3	90	155,04	13h	22h 40'	0,550	4,75	5,5	8,11
2	18/7/60	85,3	55,5	65	2j 17h	31,9	80	300	18h 55'	18h 40'	0,3	5,56	6,6	11,44
4	28/7/60	33,6	26,6	79,1	17h	17,1	30	85,68	14h 25'	16h 26'	0,297	1,64	3,9	6,08
8	9/8/60	110	74	67,3	2j 4h (1)	38,6	50	1 531,2	14h 10'	14h 26'	0,39	20,8	39,5	48,36
9	15/8/60	63,5	56,3	88,6	1j 16h	42,9	70	1 293,0	16h	15h 12'	0,96	22,6	28	36,73

(1) pluie préliminaire

La lecture de ce tableau n° 13 permet de caractériser les crues dues au ruissellement de la partie amont. L'hydrogramme atteint son maximum en 10h environ et ceci de 19h 30 à 23h, après le milieu de l'averse. Un excellent exemple en est fourni par la crue N° 6 du 1er au 2 Août (voir graphique N° 10), mais les crues N° 5, 7 et 10 sont également de bons exemples.

Les crues-types provenant d'un ruissellement général, entraînant une montée très rapide de l'hydrogramme, sont au nombre de 2 : les averses 8 et 9 qui toutes deux sont unitaires.

Dans le cas d'une crue de ce genre, on peut supposer que les caractéristiques principales seront, pour une pluie moyenne de 30 à 40 mm :

- un temps de montée variant entre 14 et 16 heures
- un temps de réponse très voisin, ce qui est dû au ruissellement très rapide des parties aval du bassin.

On voit que l'hydrogramme type a une forme assez complexe, moins cependant que l'hydrogramme déformé par la concentration de l'averse sur la partie aval.

Les temps caractéristiques des crues moins fortes et moins homogènes peuvent avoir toutes les valeurs comprises entre les ordres de grandeur donnés ci-dessus et les valeurs beaucoup plus exactes citées pour des crues dues au ruissellement en provenance du plateau amont.

Le volume ruisselé caractérisé par le coefficient de ruissellement dépend de deux facteurs essentiels : le taux de saturation du sol avant la précipitation, la hauteur de pluie utile et la forme du hyétogramme. Ainsi les crues N° 3 et N° 5, de pluviométrie comparable, donnent lieu :

- la première (séparée de l'averse antérieure de 2 jours et 4 heures) à aucun ruissellement superficiel
- la seconde (précédée par une averse seulement 16 heures auparavant) à un volume ruisselé pour un coefficient de ruissellement K_r de 2,5% ($K_{RU} = 3\%$).

L'intervalle t_d n'est pas le seul facteur qui intervient dans la saturation, le volume total tombé pendant les 2 mois précédents a une certaine influence, la grande différence entre les coefficients de ruissellement

des averses 2 et 9 est due, non seulement à une valeur plus faible de t , mais encore à des nappes regonflées par les précipitations tombées entre le 18 Juillet et le 15 Août.

Quant au rôle de la répartition dans le temps de l'averse, examinons celles du 30/7/60 (N° 6) et du 6/9/60 (N° 10), toutes deux succédant de deux jours à des averses identiques :

- N° 6 : P = 28,4 mm
 P_u = 18,6 mm
 T_u = 32 minutes
 Intensités de l'ordre de 80 mm/h
 K_R = 95 %
 K_{RU} = 14,6 %

- N° 10 : P = 34 mm
 P_u = 23,3 mm
 T_u = 90 minutes
 Intensités de l'ordre de 35 mm/h
 K_R = 5,5 %
 K_{RU} = 8,1 %

On s'aperçoit que malgré la pluviométrie supérieure de l'averse N° 10, c'est l'averse N° 6 qui donne le coefficient de ruissellement le plus important, confirmant le rôle prépondérant des intensités dans la formation du ruissellement.

TABLEAU N° 13 bis

Crue	-8h30	-6h30	-4h30	-3h30	-2h30	-1h30	- 30'	0	+ 30'	+1h30	+2h30	+4h30	+6h30	+8h30	+10h30	+12h30
6	0,35	2,1	4	4,6	5	5,35	5,6	5,7	5,6	5,2	4,8	3,5	2,4	1,4	0,7	0,26
7	0,4	2,3	3,6	4,2	4,4	4,68	4,75	4,8	4,75	4,65	4,45	3,8	3,0	2,35	1,65	1,05
Hydro gram- me moyen	0,37	2,2	3,8	4,4	4,7	5	5,2	5,3	5,2	4,9	4,6	3,65	2,7	1,9	1,2	0,65

Les données mises à notre disposition ne permettent pas de proposer un hydrogramme unitaire valable pour une crue unitaire sur la partie inférieure du bassin.

Par contre, cela nous est possible pour les crues dues à la partie amont. Pour cela, nous allons comparer les crues N° 6 et 7. L'hydrogramme unitaire moyen proposé dans le tableau 13 bis représente la crue unitaire pour une averse utile de moins de 3 heures (car l'absence du pluviogramme N° 2, bien que nous empêchant de calculer la pluie utile d'une manière exacte pour la crue N° 7, ne peut, vu la forme du hyétogramme N° 8 et la répartition spatiale de l'averse, nous faire supposer que le temps utile excède 3 heures).

Ce tableau donne, pour un volume ruisselé de $250.10^3 m^3$, les valeurs du débit de ruissellement calculées à différents moments, de part et d'autre du maximum de crue, et exprimées en m^3/s .

Pour le ruissellement général, qui correspond d'ailleurs aux très fortes averses, nous avons utilisé les hydrogrammes des averses 8 et 9.

L'emploi de la méthode des hydrogrammes unitaires nous conduit au tableau suivant dans lequel ont été portés les débits de ruissellement en m^3/s , pour un volume ruisselé de $1\ 500\ 000\ m^3$ et pour certaines époques, avant et après le maximum. Ont été éliminés de l'hydrogramme le début et la fin qui, par suite de la forme particulière du bassin, donnent lieu à une certaine déformation du diagramme classique. Seule la pointe du diagramme de distribution intervient dans le calcul des crues.

Crue:	-4h	-3h	-2h	-1h	0	+1h	+2h	+3h	+4h	+6h	+8h	+12h	+16h	+20h
N° 8:	8,0	10,8	15,5	19,0	19,4	19,2	18,5	17,6	16,6	14,6	12,4	9,4	7,2	6,1
N° 9:	13,1	18,3	22,1	23,0	23,3	22,7	21,6	19,8	18,1	14,4	11,6	8,3	6,8	5,6

Il est à noter que la crue N° 9 correspond à une averse légèrement centrée sur l'amont et la crue N° 8 à une averse trop centrée sur l'aval, présentant par suite un maximum trop faible. Nous conserverons comme hydrogramme-type celui de l'averse N° 9, le plus dangereux par ailleurs.

Crue annuelle

Pour la région de KANGABA, on peut admettre que la hauteur d'eau ponctuelle correspondant à une averse de fréquence annuelle est d'environ 75 mm. Parmi les averses étudiées, nous n'en avons relevé aucune de cet ordre de grandeur. Par contre, si on considère que le coefficient d'abattement moyen du bassin est de 70 à 72 %, la pluie moyenne est de l'ordre de 55 mm ; on peut assimiler à des averses annuelles celles du 17 Juillet et du 15 Août :

- Averse N° 2 du 17 Juillet : $P_M = 85,3 \text{ mm}$ $P_m = 55,5 \text{ mm}$
 $K\% = 65 \%$
- Averse N° 9 du 15 Août : $P_M = 63,5 \text{ mm}$ $P_m = 56,3 \text{ mm}$
 $K\% = 88,6 \%$

Les caractéristiques de ces deux averses sont très différentes. L'averse N° 2 a eu lieu sur un sol desséché où l'infiltration et surtout l'interception ont été prépondérantes. Si la même averse s'était produite un mois plus tard, ses conséquences auraient été très différentes. L'averse N° 9, étant donné son coefficient d'abattement anormalement élevé, doit être considérée comme une averse "annuelle par excès". Elle est plus probablement de fréquence triennale. Ses résultats devront donc être corrigés.

On peut donc admettre que la crue annuelle se produit en pleine période d'hivernage. Il s'agit d'une crue rapide de $1\,000\,000 \text{ m}^3$ en 14 h, avec un débit maximum de 20 à 22 m^3/s , soit 240 à 270 l/s.km^2 .

Crue décennale

Tout comme nous avons assimilé l'averse N° 9 à une averse annuelle "par excès", nous pouvons considérer qu'au point de vue du maximum ponctuel celle du 10 Août est décennale "par défaut". Il a été recueilli 101,7 mm et 93,5 mm respectivement dans les pluviomètres 4 et 5; quant à la hauteur ponctuelle maximale, elle a été estimée à 110 mm pour le pluviomètre 3. Le coefficient d'abattement n'est que de 67,3 % d'où une pluie moyenne de 74 mm.

La répartition spatiale est hétérogène, la pluie étant centrée très nettement sur l'aval, la moitié supérieure du bassin ne recevant que 55 mm.

En outre, la répartition dans le temps n'est pas très favorable, la hauteur de pluie utile moyenne n'a été que de 38,6 mm.

Ceci explique le fait que le débit maximal supposé (nous sommes évidemment gênés par les débordements) est inférieur à celui du 15 Août. Les conditions de saturation étaient normales, peut-être même légèrement favorables. Tout ceci doit conduire à un débit maximum de beaucoup inférieur au maximum décennal.

Nous estimons que dans le cas d'une pluie décennale d'un maximum ponctuel de 120 mm environ et plus homogène sur l'ensemble du bassin, les caractéristiques de la crue seraient les suivantes :

Coefficient d'abattement : 80 %

Pluie moyenne $P = 96$ mm

Pluie utile $P_u = 75$ % $P = 72$ mm

Coefficient de ruissellement $K_{RU} = 55$ %

Volume de ruissellement :

$$72 \times 10^{-3} \times 82 \times 10^6 \times 0,55 = 3,2 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Maximum ruisselé} = 23,3 \times \frac{3,2}{1} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Maximum : } \underline{53 \text{ m}^3/\text{s}}, \text{ soit } \underline{650^{1,5} \text{ l/s.km}^2} \text{ environ}$$

C H A P I T R E V

ANALYSE de l'ECOULEMENT de la Koba à DEGUELA

A) DETERMINATION des DEBITS

De même que pour le DJITIKO, la section de jaugeage utilisée pour la détermination des débits est située au droit d'un pont, celui de la route KENIEROBA-KANGABA. Ce pont de DEGUELA a une ouverture de 16 mètres.

Du mois de Mars 1960 au mois de Février 1961, 52 jaugeages au total ont été effectués, ceux du 9/3/60 et du 25/5/60 ne sont pas rapportés à des hauteurs d'eau, l'échelle limnimétrique n'étant pas encore posée. Ces jaugeages nombreux nous permettent de construire une courbe d'étalonnage (voir graph. 11) d'une très bonne précision, même pour les hautes eaux ; le débordement de rive gauche du 26/9 peut être, en effet, facilement estimé, grâce aux jaugeages N° 35 du 29/9 et N° 36 du 4/10.

Nous avons groupé la liste des jaugeages et des caractéristiques hydrauliques de base (section mouillée et vitesse moyenne (voir graphiques 13 et 14) dans le tableau N° 14.

B) ETUDE de l'ECOULEMENT de la Koba

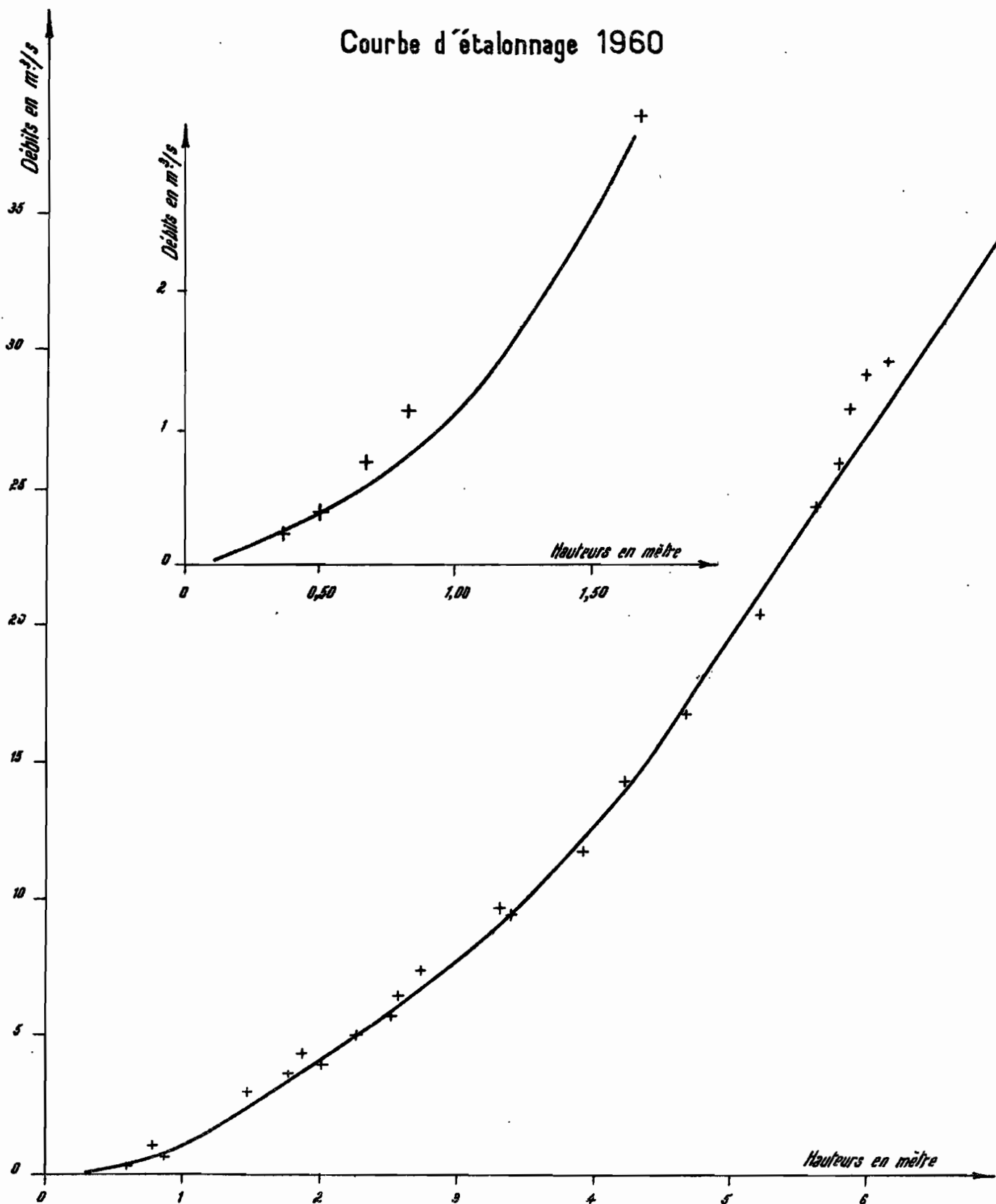
La Koba va être étudiée à la lumière des renseignements recueillis sur le DJITIKO et exposés dans le chapitre précédent.

Etiage 1960

Grâce aux jaugeages effectués pendant les tournées préparatoires à l'installation du bassin, on peut le situer fin Mai - début Juin, les premières tornades de ce dernier mois arrêtant le tarissement. Nous avons estimé approximativement la valeur de l'étiage absolu de 1960 à $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$, soit à peu près $0,7 \text{ l/s.km}^2$ en valeur spécifique.

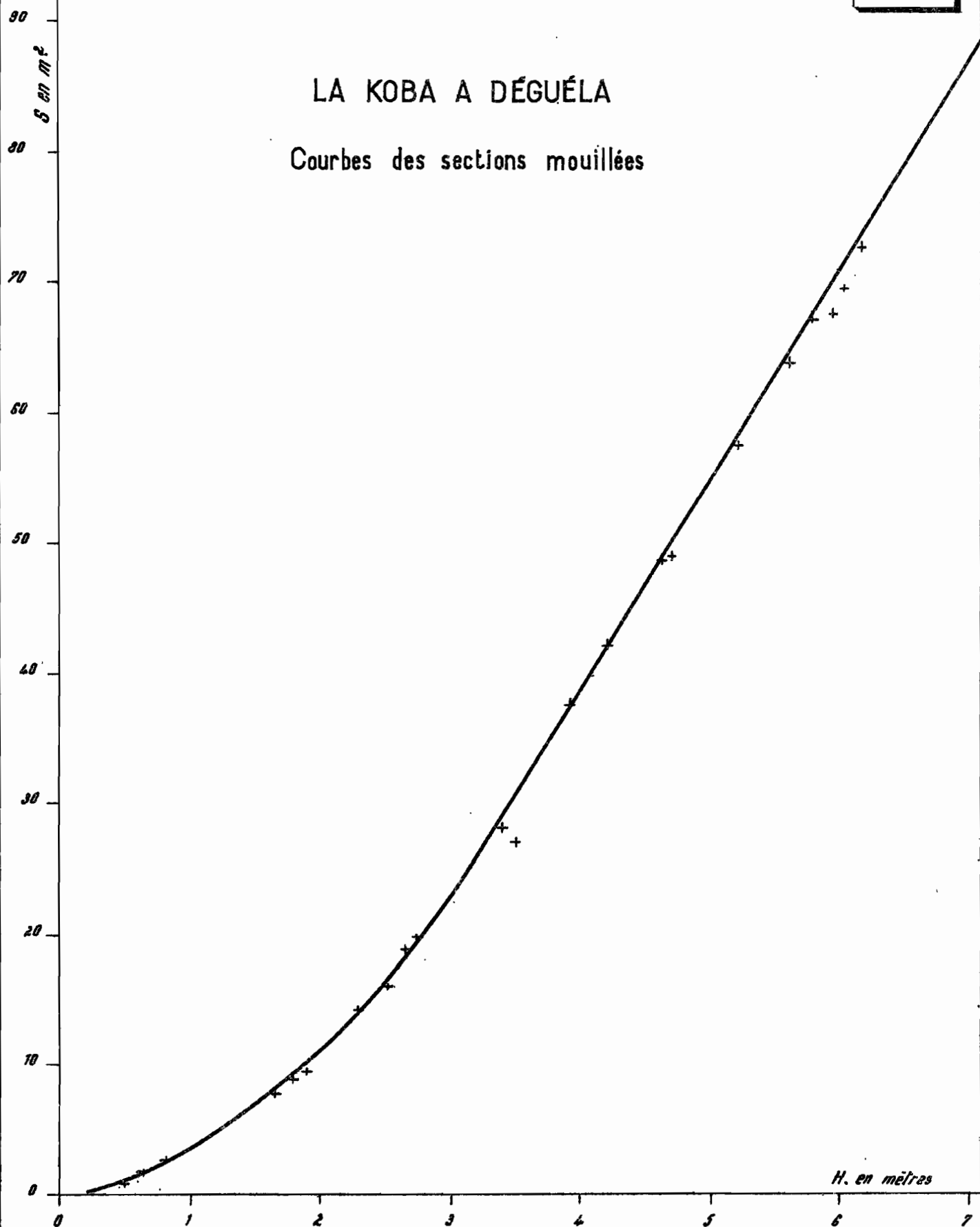
LA KOBÀ A DÉGUÉLA

Courbe d'étalonnage 1960



Gr. 13

LA KOBÀ A DÉGUÉLA
Courbes des sections mouillées



O R S T O M

A0

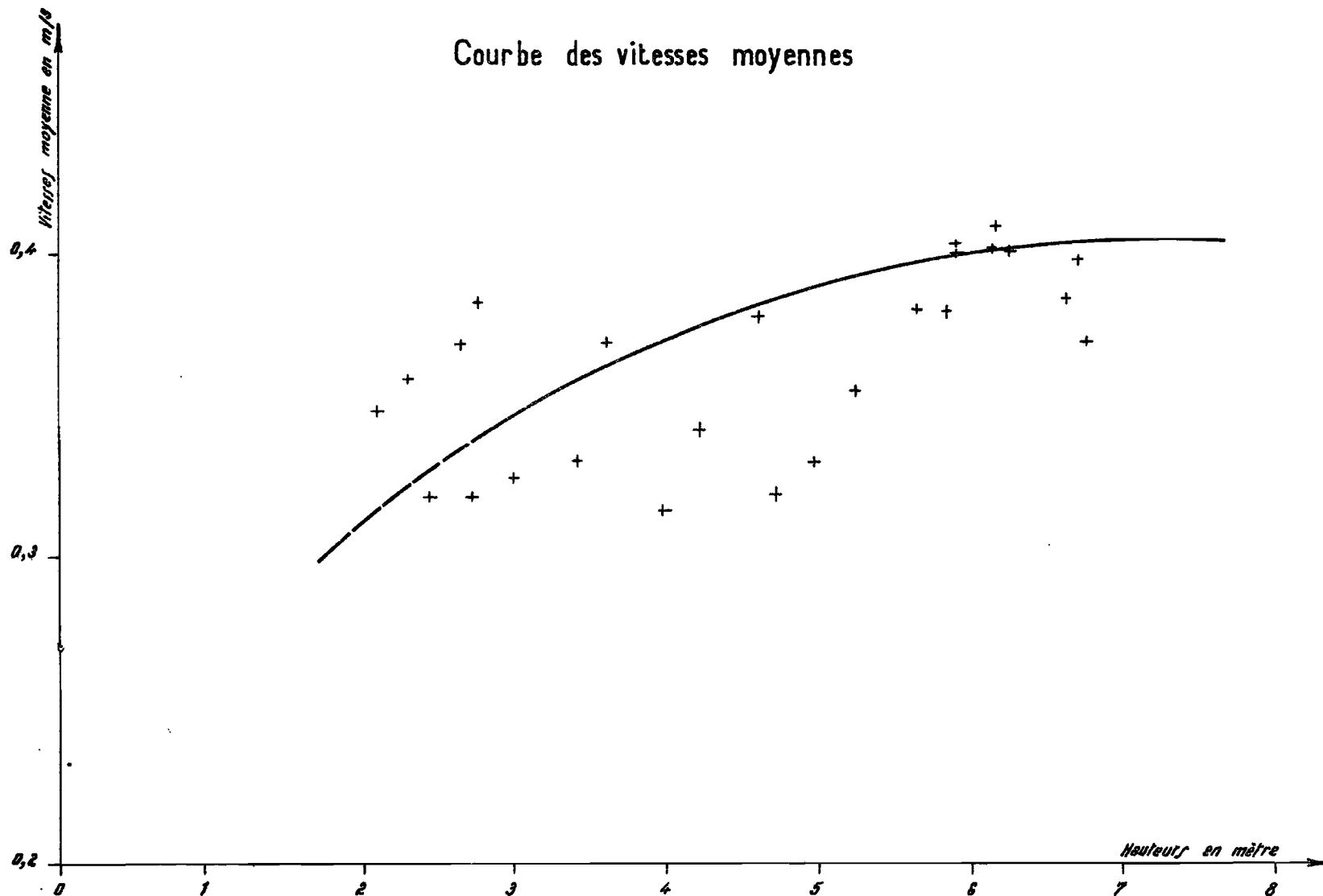
DATE : 20-10-1954

DESSINÉ : J. M. M.

MAL 51 075

LA Koba à DÉGUÉLA

Courbe des vitesses moyennes



Gr. 14

TABIEAU N° 14
LISTE des JAUGEAGES et leurs ELEMENTS HYDRAULIQUES

La Koba à DEGUELA

N°	Date	H _m	Q m ³ /s	Observations	Section en m ²	U en m/s
1	9/3/60		0,1537	Décruce		
2	25/5/60		0,1335	"		
3	9/6/60	0,26	0,0757		0,285	0,262
4	18/6/60	0,50	0,394	Décruce	1,006	0,392
5	22/6/60	0,37	0,2328	"	0,628	0,371
6	3/7/60	0,67	0,755	"	1,626	0,464
7	4/7/60	0,565	0,523	"	1,250	0,418
8	8/7/60	0,83	1,167	Crue	2,356	0,495
9	8/7/60	1,66	3,330	"	7,850	0,424
10	8/7/60	1,805	3,880	"	8,630	0,450
11	8/7/60	1,915	4,460	"	9,290	0,447
12	9/7/60	2,540	5,870	Décruce	16,500	0,355
13	10/7/60	2,05	4,000	"	11,440	0,350
14	11/7/60	2,31	5,270	Etale	14,600	0,360
15	12/7/60	2,67	6,870	Crue	18,480	0,372
16	13/7/60	2,74	7,500	Etale en crue	19,480	0,385
17	14/7/60	3,345	9,870	Crue	26,540	0,372
18	16/7/60	5,91	27,200	"	67,360	0,405
19	16/7/60	6,025	28,000	Crue lente	69,680	0,402
20	17/7/60	5,815	25,400	Décruce	66,280	0,381
21	17/7/60	5,65	24,620	"	64,400	0,383
22	24/7/60	5,245	20,500	"	57,800	0,355
23	25/7/60	4,73	15,840	"	49,080	0,323
24	26/7/60	4,235	14,450	"	42,000	0,344
25	26/7/60	3,930	11,820	"	37,480	0,316
26	27/7/60	3,410	9,640	"	28,960	0,333

TABLeAU N° 14 (suite)

N°	Date	H _m	Q m ³ /s	Observations	Section en m ²	U en m/s
27	29/7/60	4,630	18,468	Crue	48,600	0,380
28	6/8/60	6,115	29,635	"	72,280	0,410
29	11/8/60	6,615	30,900	Crue lente	80,160	0,385
30	14/8/60	6,63	32,000	Etale	80,680	0,395
31	16/8/60	6,88	31,000	Crue	83,440	0,372
32	26/8/60	4,98	18,500	Décru	55,000	0,337
33	17/9/60	6,14	29,44	Crue	72,960	0,404
34	26/9/60	7,20	(35,08)	Etale	(89,160)	0,393
35	29/9/60	7,12	33,66	Décru lente	89,280	0,377
36	4/10/60	7,05	33,00	" "	86,760	0,381
37	7/10/60	6,245	29,00	" "	77,160	0,375
38	11/10/60	3,985	11,70	Décru	38,600	0,303
39	14/10/60	3,61	8,16	"	31,360	0,260
40	18/10/60	2,985	7,22	"	22,160	0,327
41	21/10/60	2,70	6,14	"	19,040	0,321
42	27/10/60	2,45	5,27	"	16,400	0,321
43	29/10/60	1,33	2,145	"	5,160	0,416
44	6/12/60	1,23	1,840	"	4,545	0,406
45	12/12/60	1,26	1,80	"	4,12	0,437
46	20/12/60	1,10	1,39	"	3,88	0,358
47	26/12/60	1,05	1,31	"	3,74	0,350
48	1/1/61	1,00	1,10	"	3,55	0,310
49	10/1/61	0,96	0,90	"	3,25	0,277
50	22/1/61	0,89	0,80	"	2,78	0,288
51	28/1/61	0,87	0,76	"	2,69	0,282
52	5/2/61	0,82	0,72	"	2,51	0,286

L'écoulement pendant la saison des pluies

Tout comme dans l'étude du bassin versant du DJITIKO, le mois de Juin et la plus grande partie du mois de Juillet sont caractérisés par la saturation des sols et l'établissement d'un débit de base notable. A partir du 28 Juillet et jusqu'au 13 Octobre, le débit sera toujours supérieur à 11 m³/s.

Pendant ces hautes eaux, une période est particulièrement intéressante. C'est celle qui s'étend du 22 Septembre au 6 Octobre et durant laquelle le débit est constamment supérieur à 33 m³/s. Nous sommes en présence d'un phénomène caractérisé par une crue à son maximum et quasi étale pendant 11 jours. Du 24 Septembre au 4 Octobre, la décrue n'est en effet que de 19 cm, c'est-à-dire moins de 2 cm par jour. A priori, cette forme d'hydrogramme très écrasé est étonnante.

Le doute n'est pas possible sur l'exactitude de l'hydrogramme. Trois jaugeages : les 26 et 29 Septembre et le 4 octobre, confirment à la fois la hauteur d'eau et le débit pendant cette période. On doit exclure également l'influence de la crue du NIGER qui pourrait donner lieu au même phénomène que la Koba sur la station du DJITIKO. En effet, les 3 jaugeages cités plus haut (34, 35 et 36), quoique très légèrement déficitaires, ne sont pas aberrants par rapport à la courbe de tarage. Les cotes du NIGER à la station de KENIEROBA, de fin Septembre au 15 Octobre, sont ou suspectes ou inconnues. On a reconstitué les cotes absolues sur le graphique n° 4 par corrélation entre les hauteurs des stations de KENIEROBA et KOULIKORO (graphique 12).

De part et d'autre de la pointe de crue située le 28 Septembre, cette reconstitution nous fait attribuer à KENIEROBA les niveaux suivants :

- | | |
|--|---------------------------|
| - le 22 Septembre à 12h | - cote absolue : 330,65 m |
| | hauteur d'eau : 6,70 m |
| - le 7 Octobre à 8h | - cote absolue : 330,25 m |
| | hauteur d'eau : 6,30 m |
| - le 28 Septembre vers
(pointe de crue) 20h | - cote absolue : 330,75 m |
| | hauteur d'eau : 6,80 m |

CRS 10 M

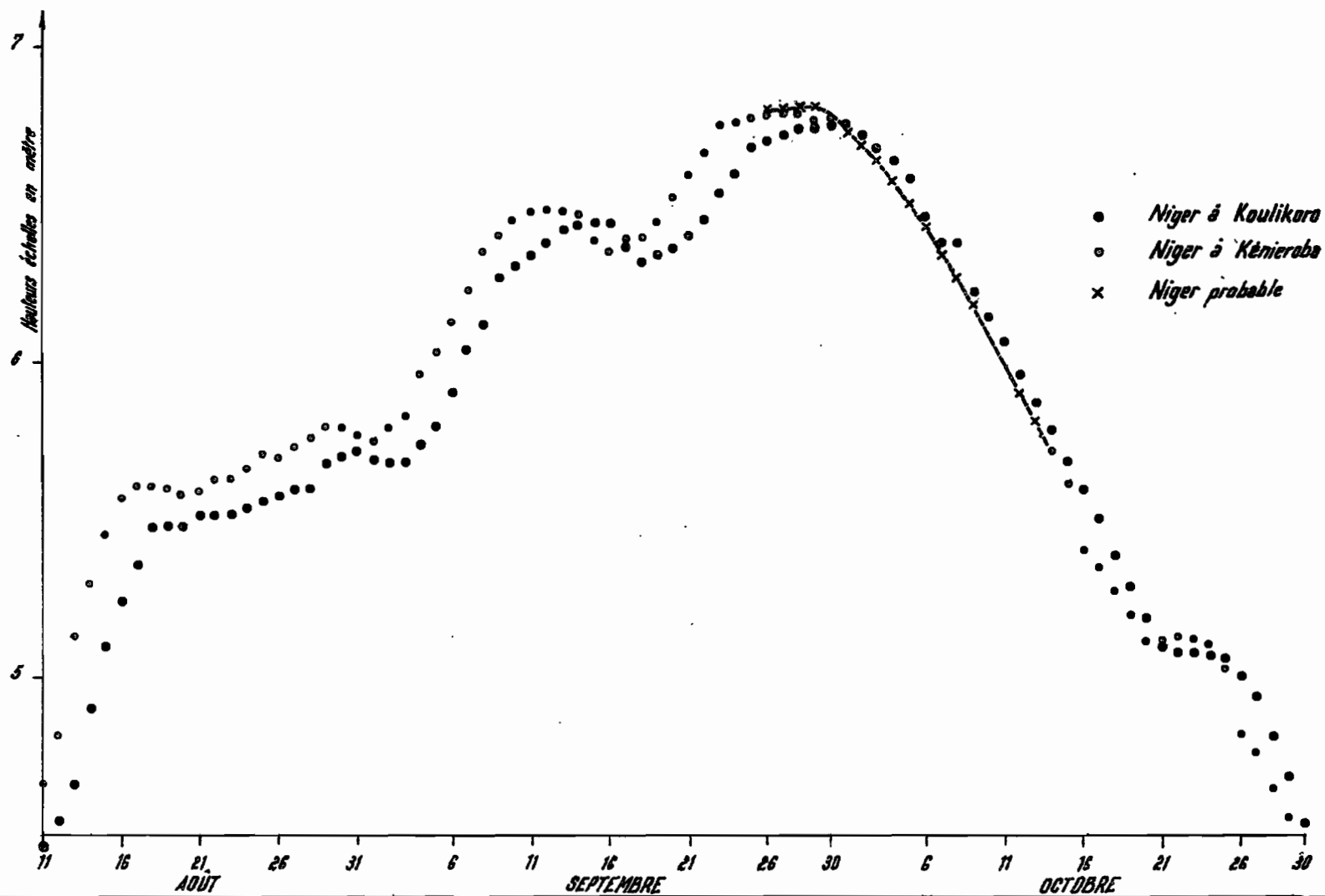
AO

DATE : 27-8-1964

DESSINÉ : J. H. (15)

MAL 51 073

HAUTEURS PROBABLES DU NIGER A KÉNIEROBA PAR COMPARAISON AVEC LE NIGER A KOULIKORO



La différence de niveau étant de 4 m au moins, l'influence du remous est nulle.

Un phénomène qui n'est pas à négliger résulte de l'existence sur le LIGNON et le KOBALÉ de lits mineurs très peu marqués et divaguant dans de larges plaines occupées par des rizières et des plantations de mil. Ces cultures elles-mêmes, étant donné la densité de la couverture végétale, peuvent jouer un rôle important de rétention. Il est normal qu'en fin de saison des pluies on se trouve en présence de cuvettes inondées successives qui améliorent le coefficient d'écoulement des dernières averses, retardent l'arrivée de la crue du bassin supérieur et tendent à niveler l'ensemble d'ondes de crues successives ; ce phénomène serait insuffisant pour expliquer qu'une pointe unique soit laminée sur 15 jours, mais il explique le remplacement de 4 ou 5 crues bien réparties par un palier régulier.

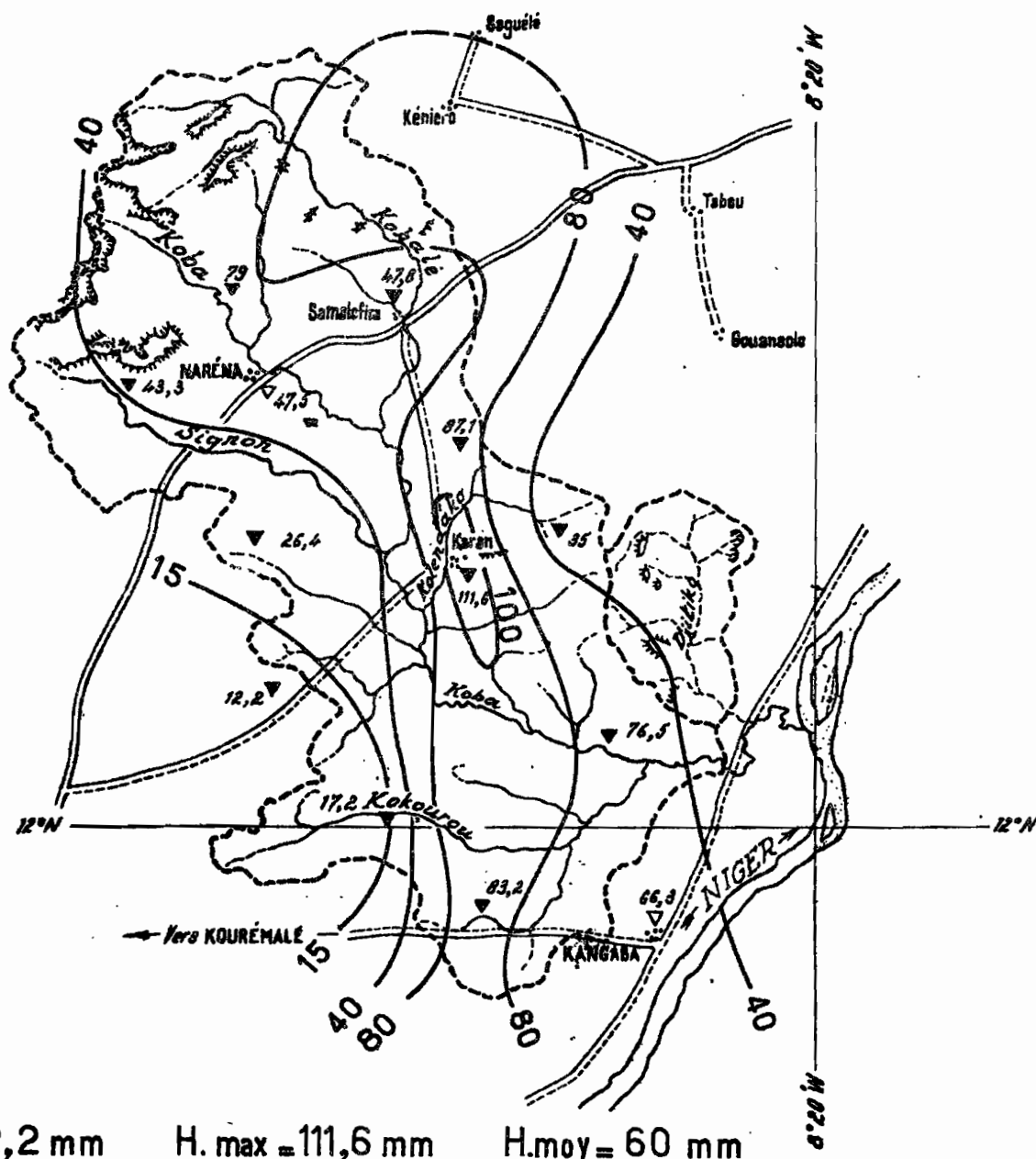
Dans un chapitre suivant, nous examinerons à la fois l'ensemble des averses et des crues de la seconde quinzaine de Septembre, mais au stade actuel des études on peut dire ce qui suit :

1°) On a observé une série d'averses du 15 au 17 (Graphique 15), dont les premières ont été centrées vers le premier tiers du bassin. S'il n'y avait pas eu de pluies ultérieures, la crue en résultant aurait été comparable à celle du 7 Septembre dont le tarissement n'a été que légèrement troublé par l'averse du 13, mais les précipitations étant moins localisées et plus prolongées, la pointe, bien que plus forte, a été plus émoussée et le tarissement moins rapide, il a dû être troublé par l'averse du 20 au 21 qui a surtout affecté la partie amont du bassin.

2°) L'averse très forte du 21 Septembre (Graphique 16) d'une fréquence assez rare puisqu'elle présente une hauteur moyenne de 70 mm répartie sur la totalité du bassin, survient alors que le débit de base est encore important, comme nous venons de le voir. Elle doit donner un volume de ruissellement très important avec un temps de montée beaucoup plus long que pour les averses du 7 Septembre ou du 15 Juillet affectant uniquement le tiers aval du bassin. On peut estimer ce temps de montée à 4 jours, on retrouve bien le maximum du 25 qui est dû à la pluie du 21. En outre, le tarissement ne doit pas être rapide, puisque cette fois-ci tout le bassin a été affecté. On en déduit une limite approximative entre l'écoulement de la crue correspondant à l'averse du

BASSIN VERSANT DE LA KOBÁ

Isohyètes pour l'averse du 15-7-60



H.min = 12,2 mm

H. max = 111,6 mm

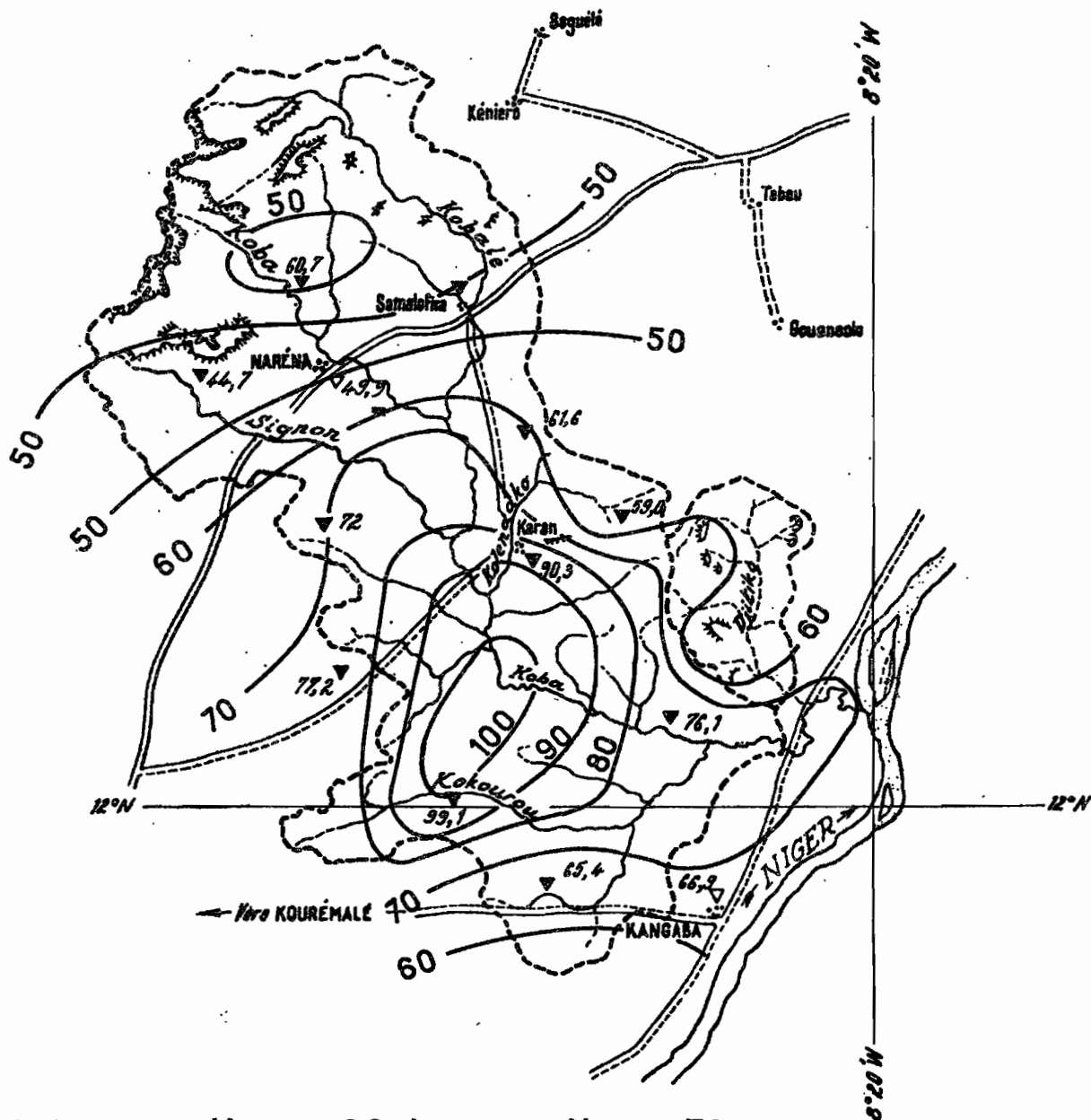
$$H_{\text{moy}} = 60 \text{ mm}$$

NOTA : Pour l'équipement du bassin du Djilika voir les fiches pluviométriques

Échelle 1/400 000

BASSIN VERSANT DE LA Koba

Isohyètes pour l'averse du 22-9-60



H min : 44,4 mm H max : 99,1mm H moy : 70 mm

NOTA : Pour l'équipement du bassin du Djihiko voir les fiches pluviométriques

Échelle 1/400 000

21 Septembre et les averses antérieures, et celui dû aux averses comprises entre le 22 Septembre et le 5 ou 6 Octobre.

3°) Suit une série d'averses de moyenne importance. Ces averses sont les suivantes :

- une entre le 24 et le 25 Septembre, conduisant à un maximum situé vers le 28-29-30 Septembre,

- une assez forte le 26-27 Septembre centrée sur le centre du bassin, conduisant à un hydrogramme dont le maximum serait le 30 Septembre ou le 1er Octobre,

- une petite averse uniquement à l'amont donnant lieu à un maximum le 30 Septembre ou le 1er Octobre,

- une assez forte homogène le 30 Septembre (Graphique 17), donnant donc un maximum très étalé situé vers le 4 Octobre.

La hauteur totale de ces précipitations est de 73 mm qui correspond à $77 \times 10^6 \text{ m}^3$, en négligeant les petites averses entièrement évaporées. La hauteur moyenne de chacune d'entre elles, l'état de saturation du terrain, le remplissage préalable du réseau hydrographique sont tels qu'ils doivent donner lieu à un coefficient d'écoulement assez élevé. Ayant tracé l'hydrogramme dû à l'averse du 21 Septembre, il est facile de trouver le volume d'écoulement dû à cette série d'averses. Le planimétrage conduit à 20 millions de m^3 . Le coefficient d'écoulement en résultant est donc de $\frac{20}{77} = 25 \%$, ce qui semble tout à fait normal, puisque pour

toute la saison des pluies $K_e = 15,1 \%$, comme nous le verrons plus loin.

On constate donc :

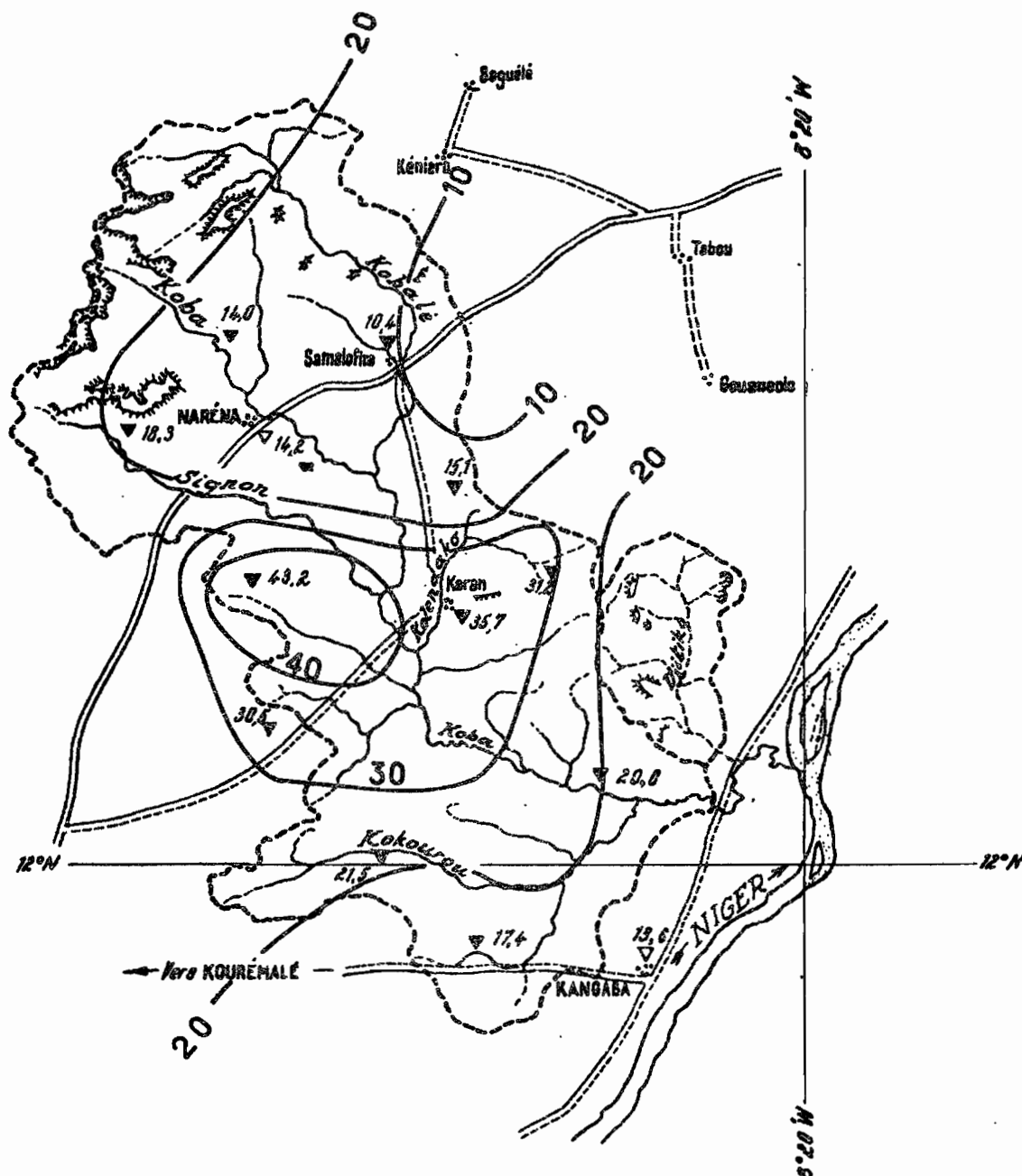
1°) que le coefficient d'écoulement des averses du 23 au 30 Septembre est absolument normal,

2°) qu'il y a une série de maximums qui se superposent entre le 24 Septembre et le 4 ou 5 Octobre,

3°) que ces maximums se superposent à des débits de tarissement relativement élevés correspondant aux averses du 21-22 Septembre.

BASSIN VERSANT DE LA Koba

Isohyètes pour l'averse du 30-9-60



H min : 10,4 mm H max : 43,2 mm Hmoy : 22,7 mm

NOTA : Pour l'équipement du bassin du Djilika voir les fiches pluviométriques

Échelle 1/400 000

ORSTOM

Ag

DATE : 20-10-1960

DESSINÉ : J. Huetlich

MAL 51 079

Il est logique que les plaines d'inondation viennent niveler le "festion" des hydrogrammes successifs donnant lieu à un palier très aplati.

Après le 6 Octobre, les débits décroissent rapidement et régulièrement. Le tarissement n'est guère affecté par les dernières averses d'Octobre.

On trouvera sur le tableau les débits moyens journaliers du 7 Juillet (débits d'un écoulement notable) au 16 Octobre 1960.

Bilan hydrologique

En 1960, la première pluie relevée se situe le 13 Juin, la dernière le 21 Octobre. Nous allons arrêter l'année pluviométrique au 13 Juin 1961. Les données manquantes seront estimées par analogie avec les stations voisines de BAMAKO et de BOUGOUNI (voir le tableau ci-après). Les hauteurs de pluie pour la période du 13 Juin au 16 Octobre 1960 sont calculées en faisant la moyenne arithmétique des précipitations sur les 12 pluviomètres.

Période	BAMAKO	KANGABA	BOUGOUNI	B.V. FANGARA
Avant le 13/6	110,7	137,1	139,1	?
Du 13/6 au 16/10	717,2	1047,3	1195,9	1166
Après le 16/10	12,5	46,4	60,5	?
Total 1960	840,4	1230,8	1395,5	(1300)

On trouvera dans le tableau N° 15 les volumes et lames d'eau écoulés pour l'année 1960, valables pour une année moyenne. Les anomalies possibles de l'écoulement nous ont entraînés à bloquer en un seul ensemble la période à forte pluviométrie. Cette période d'observation couvrant plus de 90 % des pluies totales, notre bilan peut prétendre à une bonne précision. Ses caractéristiques sont les suivantes :

TABLEAU N° 15

BILAN HYDROLOGIQUE de la Koba en 1960
(1 052 km²)

Période	Pluie moyenne en mm	Volume des pluies en 10 ⁶ m ³	Volumes écoulés en 10 ⁶ m ³	Lame d'eau écoulée en mm	Ke %	Débit en m ³ /s
Avant le 13/6			(1)	1		
Du 13/6 au 16/10	1166	1224	185	175	15,1	
Avant le 16/10			(27)	26		
Année 1960	(1300)	1370	213	202	15,5	6,7 m ³ /s ou 5,3 l/s.km ²

N.B. Les valeurs () sont des estimations.

- module de $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $6,3 \text{ l/s.km}^2$
- lame d'eau écoulée de 200 mm environ pour un volume de 210 millions de m^3
- déficit d'écoulement voisin de 1 100 mm
- coefficient d'écoulement de 15,5 %

Les études faites sur des bassins versants comparables à celui-ci, permettent de déterminer les valeurs des mêmes caractéristiques pour les années décennales excédentaires ou déficitaires, comme suit

- | | | |
|-----------------------------|----------------|-------------------------------|
| - volumes écoulés | 1er décile | $350 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| | dernier décile | $100 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| - coefficients d'écoulement | 1er décile | 25 % |
| | dernier décile | 10 % |

c) ETUDE des PRINCIPALES CRUES

Nous possédons des relevés limnigraphiques du 7 Juillet au 15 Octobre. Leur dépouillement nous met en présence d'un ensemble de crues dont la séparation est presque toujours difficile ou impossible (grap. 18-18 bis et 18 ter).

Car pour un bassin d'une telle superficie, le temps de ruissellement pour une pluie homogène est nettement supérieur à l'intervalle de temps que l'on observe généralement entre deux averses importantes. Les hydrogrammes chevauchent, en outre le débit hypodermique est notable, il est généralement impossible de le distinguer du débit de ruissellement provenant des parties amont du bassin. Enfin, les superficies couvertes par la partie "active des tornades" (plus de 12 à 15 mm) sont très inférieures en général à la superficie du bassin, de sorte que la forme de l'hydrogramme même isolé est largement fonction de la situation de l'épicentre de l'averse ; ceci est d'autant plus sensible que le bassin présente une forme allongée.

On ne peut pas espérer pouvoir appliquer strictement la notion d'hydrogramme unitaire, puisqu'il est pratiquement impossible d'isoler seulement un hydrogramme résultant d'une forte averse homogène. On ne peut que suivre l'esprit de cette méthode en procédant à une analyse simultanée des averses et des crues.

O R S T O M

Ao

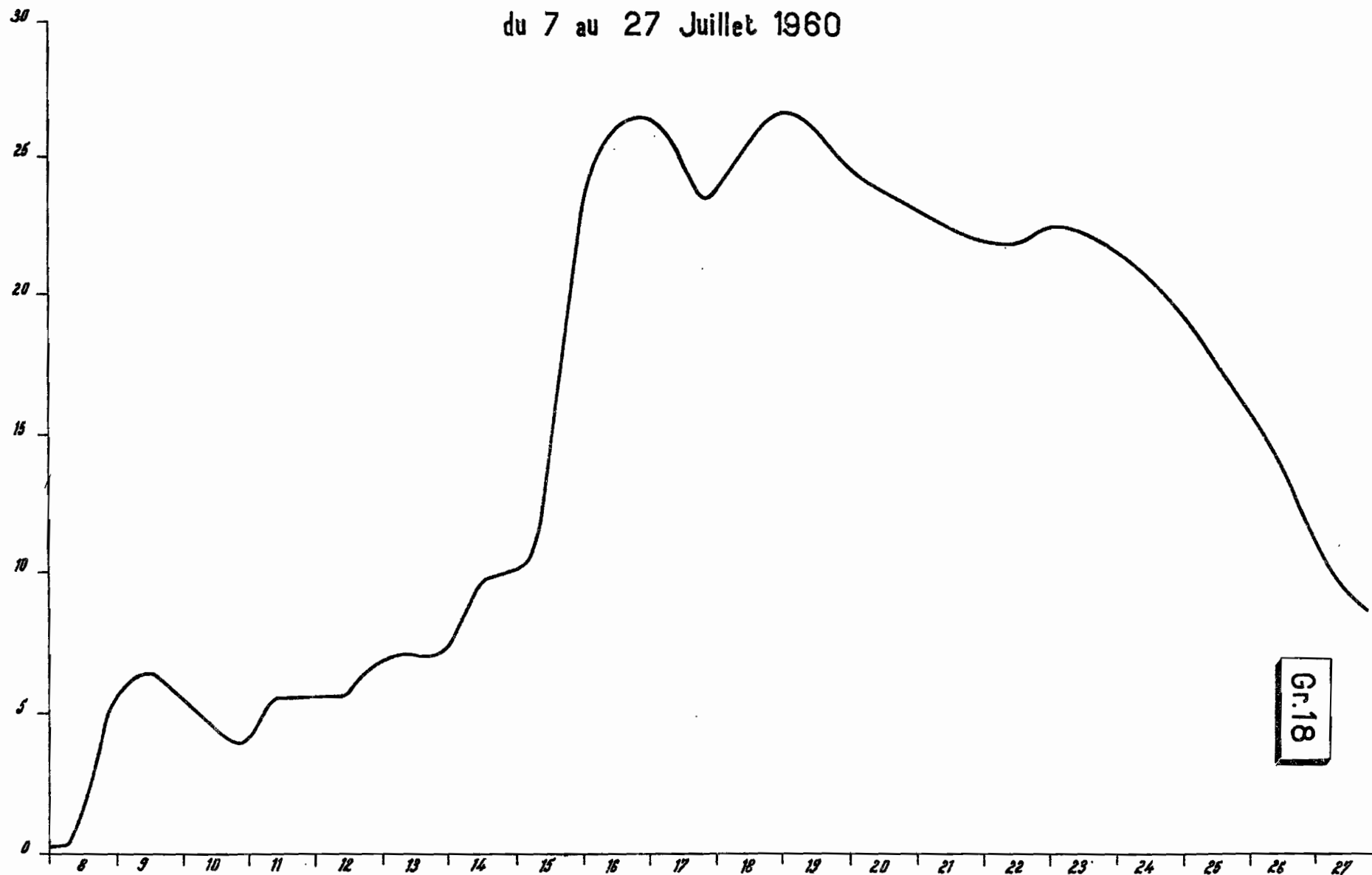
DATE : 27-07-1960

DESSINÉ : J. H. H. H.

MAL 51 080

DÉBITS DE LA Koba A DÉGUÉLA.

du 7 au 27 Juillet 1960

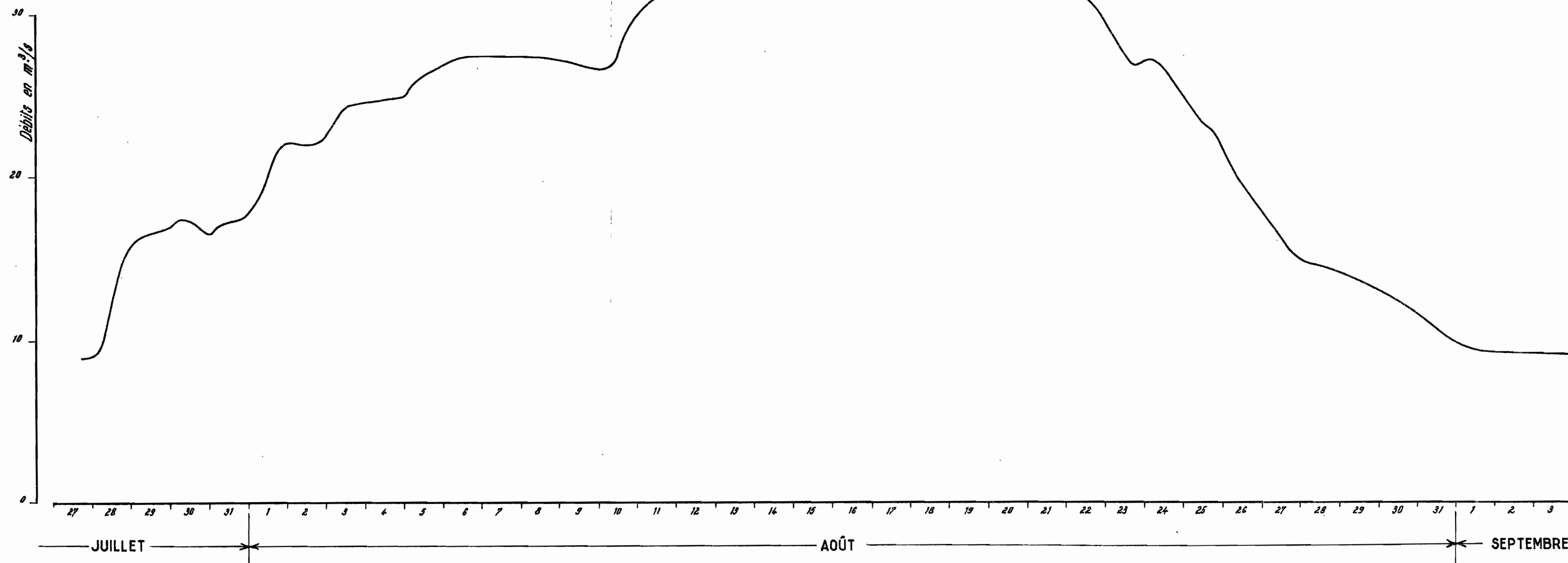


Gr.18

Gr. 18 bis

DÉBITS DE LA KOBÀ A DÉGUÉLA

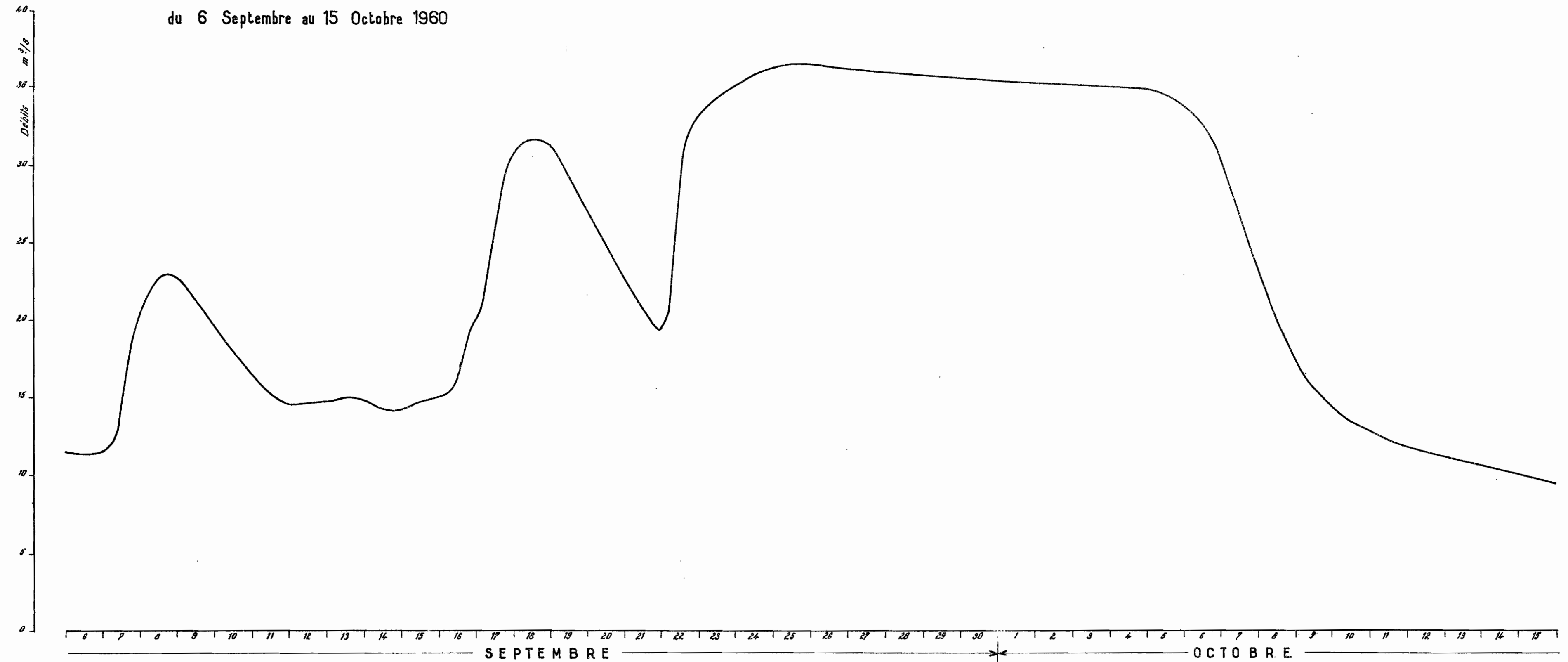
du 27 Juillet au 3 Septembre 1960



Gr.18ter

DÉBITS DE LA KOBÀ A DÉGUÉLA

du 6 Septembre au 15 Octobre 1960



L'écoulement commence dans la nuit du 7 au 8 Juillet avec une première crue due à l'averse du 7 qui présente un maximum de 56 mm vers l'aval de la partie amont du bassin à NARENA. Le DJITIKO a été également assez fortement arrosé, le centre du bassin a également reçu d'assez fortes précipitations de 35 à 50 mm. La hauteur de précipitation moyenne a été voisine de 23 mm.

Le maximum a atteint $6,6 \text{ m}^3/\text{s}$ le 9 vers le milieu de la journée avec un temps de réponse assez voisin de 48 h. Le bassin n'a pas ruisselé en totalité, la fin de l'hydrogramme a certainement été masquée par les crues résultant des averses du 10 Juillet et des jours suivants, on ne peut donc pas discerner l'arrivée à DEGUELA de l'écoulement provenant de l'épicentre de DARENA. On peut déduire de ce qui suit que la première pointe correspond aux précipitations tombées vers les pluviomètres 14 et 18. Le coefficient d'écoulement pour cette crue serait de 5 à 6 %.

L'averse du 8 Juillet (moins de 10 mm) n'a dû donner lieu qu'à un écoulement négligeable. L'averse du 10 Juillet a été assez homogène avec hauteur maximale de 36,5 mm (39 sur le DJITIKO) et une hauteur de précipitation moyenne de 25 mm environ). Tombant dans de bonnes conditions, elle a donné lieu probablement à un écoulement généralisé, quoique faible en de nombreux points, sauf en certaines régions de la partie aval du bassin. A part la brusque montée de la matinée du 11 correspondant à cette dernière fraction du bassin, l'hydrogramme en résultant a été assez mou et comme il est superposé à la fin de la crue précédente, il est impossible d'en tirer aucune donnée utile.

Dans la nuit du 10 au 11 a succédé une seconde averse, à peu près de la même importance, assez homogène, sauf une pointe de 43,4 mm à l'est de NORENA. L'hydrogramme en résultant, de la même nature que le précédent, est tout aussi inexploitable.

Les averses du 12 et du 14 Juillet, dont la hauteur moyenne est inférieure à 15 mm, ont simplement pour effet de maintenir la saturation du terrain.

L'averse du 14 Juillet, avec une hauteur moyenne de près de 30 mm, épicentre vers le Sud-Ouest du bassin, a certainement donné lieu à un écoulement notable assez comparable à celui qui a succédé à l'averse du 7 Juillet,

mais l'hydrogramme est absolument impossible à dissocier des autres, seule la montée du 14 Juillet avec un temps de réponse de l'ordre de 24 heures correspond probablement à cette averse.

Dans ces conditions éminemment favorables, survient l'averse du 15 Juillet. Elle est centrée surtout sur le centre du bassin avec 111,6 mm au pluviomètre 15 et un épïcén-tre secondaire de 79 mm sur la partie amont au Nord de NARENA. La hauteur de précipitation moyenne sur le bassin de la KOBÀ est de 60 mm. Incontestablement, le maximum de 26,7 m³/s le 16 dans la soirée correspond à cette averse, avec un temps de montée de 40 heures environ (le début de la montée est dû probablement à l'averse du 13). Le temps de réponse est d'une trentaine d'heures, il correspond au tiers aval du bassin, ce qui serait assez logique pour un bassin autonome de 300 km² assez ramassé, comme c'est le cas (le temps de réponse pour le DJITIKO est de l'ordre de 15 heures pour les très fortes crues, un peu plus pour les crues moyennes).

Malheureusement, le second maximum dû à la partie amont du bassin, certainement bien inférieur au premier et qui doit correspondre à un temps de réponse supérieur au double du temps de réponse du premier, doit se produire dans la nuit du 18 au 19 et est complètement masqué par la crue suivante. On ne peut donner du volume écoulé qu'un très vague ordre de grandeur correspondant à 8 ou 9 x 10⁶m³, avec un coefficient d'écoulement de 13 à 15 %.

Deux jours après en effet, les 17 et 18 Juillet, on relève une seconde averse presque aussi importante assez homogène : la hauteur de précipitation moyenne est de 46 mm avec un maximum de 81,5 au pluviomètre 17 au Nord-Est de NARENA.

Le débit maximum en résultant est égal à celui de la crue précédente : 26,7 m³/s, il survient le 19 au cours des premières heures.

L'hydrogramme serait fort intéressant s'il était isolé, mais il est superposé à tous les hydrogrammes précédents et la décrue est complètement perturbée par les averse-s du 19 au 20 Juillet (P = 20 mm environ) et du 22 Juil-let (P = 24 mm), toutes deux seraient plutôt centrées sur le haut bassin et donnent lieu à un maximum de 22,5 m³/s le 23 de très bonne heure. On ne peut déduire de la crue du 19 qu'un seul renseignement : une averse à peu près homogène

avec épigentre sur le bassin amont donne cependant lieu à un maximum décalé d'une trentaine d'heures sur l'averse, les apports du bassin supérieur donnant lieu à une crue beaucoup plus amortie que les apports du bassin aval. Ceci se confirme d'un bout à l'autre de la campagne.

Jusqu'au 27 Juillet, aucune averse vraiment notable ne vient troubler le tarissement. En somme, la période du 7 Juillet au 27 donne lieu à une série de crues dont certaines sont assez différenciées ; la végétation n'est pas encore très développée, le réseau hydrographique n'est pas encore plein partout, la saturation n'est que partielle, l'hydrogramme d'ensemble est encore assez accidenté. Le volume d'écoulement, compte tenu d'une courbe de tarissement reconstituée, est de 30 millions de m³ pour un volume de précipitation de 295 millions de m³, soit un coefficient d'écoulement voisin de 10 %.

Du 27 Juillet au 23 Août, les crues sont encore plus difficiles à isoler. L'hydrogramme de cette période est très mou. Il présente au début deux petites montées brusques : l'une le 28 Juillet due à l'averse homogène du 27 Juillet (légèrement supérieure à 25 mm) prolongée par celle du 29, l'autre correspondant à l'averse du 31 Juillet prolongée par celle du 2 Août, qui, toutes deux, dépassent un peu 25 mm avec des maximums de 64,3 mm pour la première, 76,6 mm pour la seconde, toutes deux vers le centre du bassin, donnant lieu à des hydrogrammes individuels peu vigoureux.

Du 2 Août au 9 Août, quelques petites averses entretiennent un peu la saturation et donnent un léger écoulement, l'hydrogramme présente un palier, les 9 et 10 Août survient la plus forte averse de l'année avec une hauteur moyenne égale à 73 mm et deux épigentres : l'un à NARENA sur le pluviomètre 19, 109 mm, l'autre au Sud-Ouest du bassin sur le pluviomètre 13, 109,7 mm.

Cette averse, plus importante que celle du 15 Juillet, est tombée sur un sol moins saturé en surface mais avec un débit de base, donc des réserves profondes plus importantes, le ruissellement a été sûrement moins important et, les abords de la station de jaugeages ayant été un peu moins arrosés, la montée a été moins raide, superposée à un débit de base plus important, la crue a atteint cependant un maximum beaucoup plus élevé : 31,8 m³/s le 12, donc avec un temps de réponse de l'ordre de 48 heures cor-

respondant sûrement à la moitié aval du bassin. Il est impossible de dissocier même une partie de l'hydrogramme.

Le 11 Août, une averse d'une vingtaine de mm vient prolonger la crue précédente, puis du 11 au 15 on note un palier et le tarissement va commencer lorsque survient l'averse du 15 Août centrée sur le Sud du bassin et dont la hauteur de précipitation moyenne est de 33 mm (43 mm sur la moitié aval du bassin). Les conditions de saturation sont très voisines de celle qu'a rencontrées l'averse du 10 Août.

Une dernière montée avec un maximum très aplati le 17 Août ($33,9 \text{ m}^3/\text{s}$) résulte de cette averse.

Il semble que plus la crue rencontre un réseau hydrographique plein, plus elle a tendance à s'amortir, une partie importante du réseau faisant fonction de retenue.

L'averse du 21 Août (hauteur moyenne : 30 mm environ) donne lieu à un palier. La décrue s'amorce le 22 et se poursuit jusqu'au 6 Septembre, un peu troublée cependant par les averses du 23-24 Août qui totalisent une vingtaine de mm et beaucoup moins par celle du 27-28 Août très hétérogène et de faible hauteur moyenne.

Au total, l'ensemble des crues de la période du 27 Juillet (exclu) au 4 Septembre (exclu) a donné lieu à un écoulement égal à $80\,000\,000 \text{ m}^3$ pour un volume de précipitation de $408\,000\,000 \text{ m}^3$.

Le coefficient d'écoulement est voisin de 20 % (1)

Après l'averse du 21 Août, jusqu'au 7 Septembre les précipitations sont peu importantes et ne peuvent donner lieu qu'à un très faible écoulement.

L'averse la plus forte pour la période du 2 au 7, celle du 4 Septembre, ne dépasse guère une dizaine de mm. Cependant si les couches superficielles du sol sont sèches, le débit de base est notable, il est de $11,4 \text{ m}^3/\text{s}$ le 6 au soir et le réseau hydrographique est encore en eau. C'est

(1) les débits étant les mêmes aux deux extrémités de cette période, on a supposé que les volumes d'eau qui proviendraient du tarissement après ces deux dates seraient les mêmes.

dans ces conditions que se produit l'averse du 7 Septembre - hauteur de précipitation moyenne : 34 mm - hauteur maximum de l'ordre de 80 mm, centrée sur le Sud-Ouest du bassin. La moitié amont qui n'a reçu que 20 à 30 mm a peu ruisselé. En outre, il n'a pratiquement pas plu jusqu'au 11. L'hydrogramme est donc caractéristique de la moitié Sud du bassin, le temps de réponse est de 35 à 40 heures, le maximum atteint 23,2 m³/s. Le volume écoulé est de 6 000 000 de m³ environ, le coefficient d'écoulement de 16 %.

L'averse du 10 au 11 sur le haut bassin (25 mm) et l'averse du 13 troublent la fin de la décrue.

Le 15 Septembre, après une période de huit jours assez sèche, une averse très hétérogène affectant surtout le Sud-Ouest du bassin donne lieu à un hydrogramme assez isolé. Le réseau des isohyètes est très comparable à celui du 7 Septembre, mais avec des hauteurs de précipitations beaucoup plus fortes. On relève une hauteur de précipitation moyenne de 36 mm (en fait, si on ne considère que la moitié Sud du bassin, la différence de hauteur moyenne avec l'averse du 7 Septembre est beaucoup plus marquée), l'épicentre au pluviomètre 13 a nettement dépassé 100 mm (peut-être 110 ou 120 mm). Le Nord-Ouest du bassin a été également bien arrosé, mais sur une superficie trop restreinte pour troubler beaucoup l'hydrogramme qui est encore typique de la moitié Sud du bassin, comme le précédent.

Le maximum intervient le 18 vers la fin de la journée avec 31,9 m³/s. Le temps de montée, voisin du temps de réponse, est de 65 heures. La décrue est probablement troublée par l'averse suivante du 16-17 Septembre centrée sur le Nord-Ouest du bassin. Le volume écoulé a dû être de l'ordre de 10 000 000 m³. Le coefficient d'écoulement serait de 18 % en comptant l'averse suivante et de 25 % si on ne la compte pas.

Ces coefficients seraient beaucoup plus élevés si on ne considérait que la partie aval du bassin.

Après un intervalle de presque 3 jours sans pluie, une averse de hauteur moyenne (14 mm) affecte le centre du bassin rétablissant certainement une honorable saturation, mais seulement au voisinage de l'épicentre.

Les 21 et 22 Septembre se produit la seconde averse de l'année, avec une hauteur de précipitation moyenne de 70 mm et un épïcentre qui a dû être de 100 mm environ vers le pluviomètre 13. Elle a affecté surtout la moitié Sud du bassin, mais a très largement débordé sur la moitié Nord avec des hauteurs de précipitation de 50 à 60 mm et un épïccentre secondaire assez peu marqué au pluviomètre 21. On pourrait penser que cette averse donnerait à la rigueur une idée de l'hydrogramme correspondant à des précipitations homogènes. Mais les conditions de saturation étant très hétérogènes, le ruissellement a dû être encore plus irrégulier que les précipitations; la seconde moitié de l'hydrogramme a été troublée par les averses ultérieures. On retiendra seulement un temps de montée de 80 heures, certainement très inférieur au temps de montée d'une très forte averse homogène. Le maximum a été de $36,7 \text{ m}^3/\text{s}$ le 25 Septembre.

Cette averse rencontre des conditions générales médiocres pour le mois de Septembre. Le débit de base affaibli par la période sèche de fin Août - début Septembre a été un peu remonté par les deux précipitations du 7 et du 15 Septembre, mais il ne doit guère dépasser la normale pour cette époque de l'année. La surface du sol n'a été saturée que par place par les averses du 16-17 et du 20, la crue en résultant ne doit guère dépasser la fréquence annuelle, alors que l'averse doit être d'une fréquence nettement plus faible. Il est absolument impossible de calculer le volume écoulé et le coefficient d'écoulement qui a dû être plus élevé que celui de l'averse précédente.

Il faut, après cette tornade, attendre la nuit du 24 au 25 Septembre pour trouver une averse susceptible de donner lieu à un écoulement notable, la hauteur moyenne est voisine de 22 mm et elle est centrée plutôt sur la partie amont du bassin, donc avec un temps de réponse assez long. Il est remarquable de constater que, malgré un intervalle de 3 jours depuis l'averse du 20-21, le débit a à peine fléchi, ce qui indique que l'hydrogramme précédent a été extrêmement mou. De la même façon, l'averse du 26-27 Septembre ($P = 28 \text{ mm}$ $P_M = 56 \text{ mm}$) centrée sur le centre du bassin, prolonge le palier.

Enfin, après quelques petites pluies maintenant une légère humidité du sol, survient l'averse du 30 Septembre ($P = 23 \text{ mm}$ $P_M = 43,2 \text{ mm}$) centrée un peu plus au Sud que la précédente, dont l'effet est identique. L'averse du 11 Octobre ne déforme que très légèrement la courbe de tarissement.

Pour faire le bilan de la période que nous venons d'examiner, nous considérons une origine et une extrémité telles que les débits de base soient les mêmes, c'est-à-dire le 7 Septembre à 0 h et le 12 Octobre à 0 h, avec un débit de base voisin de $12 \text{ m}^3/\text{s}$. La hauteur de précipitations (averse du 11 Octobre non comprise) est de 282 mm correspondant à un volume de $297\,000\,000 \text{ m}^3$. Le volume écoulé est de $79\,000\,000 \text{ m}^3$. Le coefficient d'écoulement est de 27 %.

On comprendra aisément, par l'exposé qui précède, qu'il n'est pas question de présenter un tableau de caractéristiques des crues complet et précis. Nous avons dû arrondir volontairement jusqu'ici tous les chiffres représentant les hauteurs de précipitations moyennes, les volumes d'écoulement, les coefficients d'écoulement ; la plupart du temps les hydrogrammes ne peuvent pas être isolés ; même les précipitations maximales ponctuelles sont quelquefois mal connues.

On présentera simplement dans le tableau ci-dessous, pour chaque averse : la hauteur de précipitation maximale P_M , la hauteur de précipitation moyenne P , le coefficient d'abattement $K\%$, l'intervalle t à la pluie précédente ayant donné lieu à écoulement même léger (écoulement trop localisé exclu), le débit de base Q_0 , le volume écoulé V_e , le débit maximal Q_M , le coefficient d'écoulement K_e .

N°	Date	P_M	P	$K\%$	t_a jours	Q_0 m^3/s	V_e 10^6 m^3	Q_M m^3/s	K_e %	Obser: vat.
1	7-7	56	23	41	<u>3</u>	0,3	1,5	6,6	5	2
2	15-7	112	60	53	<u>2</u>	10	8-9	26,7	13-15	2
3	18-7	82	46	56	2,5	23,5	?	26,7	?	3
4	22-7	34	24	71	<u>2,5</u>	22	?	22,5	?	3
5	10-8	(110)	73	66	<u>5</u>	26,8	?	31,8	?	4
6	7-9	80	34	43	<u>3</u>	11,4	6	23,2	16 %	1
7	15-9	(120)	36	30	<u>2,5</u>	15	(10)	31,9	(25)	1
10	21-9	100	70	70	<u>5</u>	19,4	?	36,7	?	4

- 1 centrée sur le Sud ou Sud-Ouest
- 2 centrée sur le Centre
- 3 centrée sur le bassin amont
- 4 vaguement homogène

Coefficient d'écoulement K_e des diverses périodes :

7 au 27 Juillet	Précipitations : 281 mm	$K_e = 10 \%$
28 Juil. au 3 Sept.	" 388 mm	$K_e = 20 \%$
7 Sept. au 12 Oct.	" 282 mm	$K_e = 27 \%$

Retenons de cette analyse :

1°) Que les crues se superposent à un débit de base qui, de façon générale, croît de Juillet à Septembre.

2°) Qu'en rapport avec ce phénomène, les coefficients d'écoulement croissent de Juillet à Septembre, phénomène déjà observé sur beaucoup de bassins de la région présentant un coefficient de rétention élevé. Les crues de Juillet ne peuvent pas fournir de gros volumes.

3°) Que pour une pluie homogène, l'hydrogramme est très mou, la partie la plus vigoureuse correspondant à la moitié aval du bassin. Quand le réseau hydrographique est bien plein, il ne semble pas que l'hydrogramme devienne plus vigoureux. Certains indices tendent à indiquer qu'il y a une espèce de laminage, au contraire.

4°) Les trois fortes averses de l'année (N° 5, 7 et 10) n'ont pas rencontré de circonstances favorables. L'averse 7 très excentrée n'a pas eu une forte extension. Les averses 5 et 10 n'ont pas rencontré les conditions favorables qu'on peut attendre d'une crue de fréquence bi ou trisannuelle, à savoir : $t_a = 2$ ou 1 au moins, position 1, coefficient d'abattement 70 à 75 %, époque Septembre. La plus forte est certainement inférieure à la valeur médiane des maximums annuels, sans probablement s'en écarter beaucoup (1).

Crue annuelle -

On concevra aisément que si, dans le cas du bassin de la KOBA, les méthodes analytiques pourraient être utili-

(1) Pour des bassins de cette dimension, ce serait une erreur de croire que la crue annuelle est la crue provoquée par une averse de maximum ponctuel annuel, en un point quelconque du bassin. Les averses 5 et 10 se produisent plus d'une fois par an.

sées pour déterminer les hydrogrammes de crues, la méthode des hydrogrammes unitaires, sous sa forme classique est inutilisable. D'autres méthodes, telles que la méthode des hydrogrammes synthétiques, exigent une meilleure connaissance des conditions de ruissellement, laquelle nécessiterait deux ou trois campagnes d'études. La campagne 1960 a montré que, selon toute vraisemblance, le maximum de 1960 était inférieur à la crue annuelle (valeur médiane), mais elle doit en différer assez peu, car l'averse n° 10 est forte et si elle a rencontré des conditions médiocres pour le mois de Septembre, il n'est pas possible de dire que ces conditions sont défavorables ; à priori, une crue de 40 à 50 m³/s, soit 40 à 50 l/s.km² serait vraisemblable. Un autre mode d'approche serait le suivant : comme pour beaucoup de bassins de ce genre, la crue proviendrait du tiers aval du bassin. L'étude du DJITIKO et d'un bassin de HAUTE-VOLTA ayant à peu près les mêmes aptitudes au ruissellement, la POGARAYA (sol plus imperméable, mais pente plus faible), nous a montré que pour 80 km² il fallait compter sur un débit de crue de 20 m³/s environ. Pour un bassin 4 fois plus grand il faudrait prévoir un débit spécifique nettement plus faible avec un coefficient de réduction de l'ordre de 50 à 60 %. On aurait alors :

$$Q_M = 20 \times 4 \times 0,5 \text{ (ou } 0,6) = 40 \text{ m}^3/\text{s}_3 \text{ (ou } 50 \text{ m}^3/\text{s})$$

On peut supposer ce maximum "juché" sur un hydrogramme analogue à celui du 21 Septembre au 11 Octobre 1960, d'où on peut imaginer un volume de crue de peut-être 100 à 150 000 m³, le débit se maintenant certainement plusieurs jours au voisinage du maximum.

Crue décennale

Pour la crue décennale, on est encore davantage réduit à des hypothèses. L'inconnue principale réside dans la forme de l'hydrogramme. Une averse survenant en Septembre et ruisselant beaucoup plus que l'averse n° 10 présenterait-elle un hydrogramme plus ou moins aplati que celui relatif à cette crue ?

La comparaison avec des bassins correspondant au même climat et mieux connus peut être utile. La KOBAFINI, où la crue décennale est assez bien déterminée, présente une crue décennale de 290 m³/s ou 360 l/s.km² pour un bassin de 800 km², mais c'est certainement une limite supérieure très éloignée du débit cherché.

Pour le KOULOUOKO à NIEGHA (1010 km^2 en HAUTE-VOLTA) on a trouvé 95 à $120 \text{ m}^3/\text{s}$, le réseau hydrographique est plus dégradé mais le bassin est plus imperméable. Il n'est pas invraisemblable que la KOBA donne des chiffres comparables.

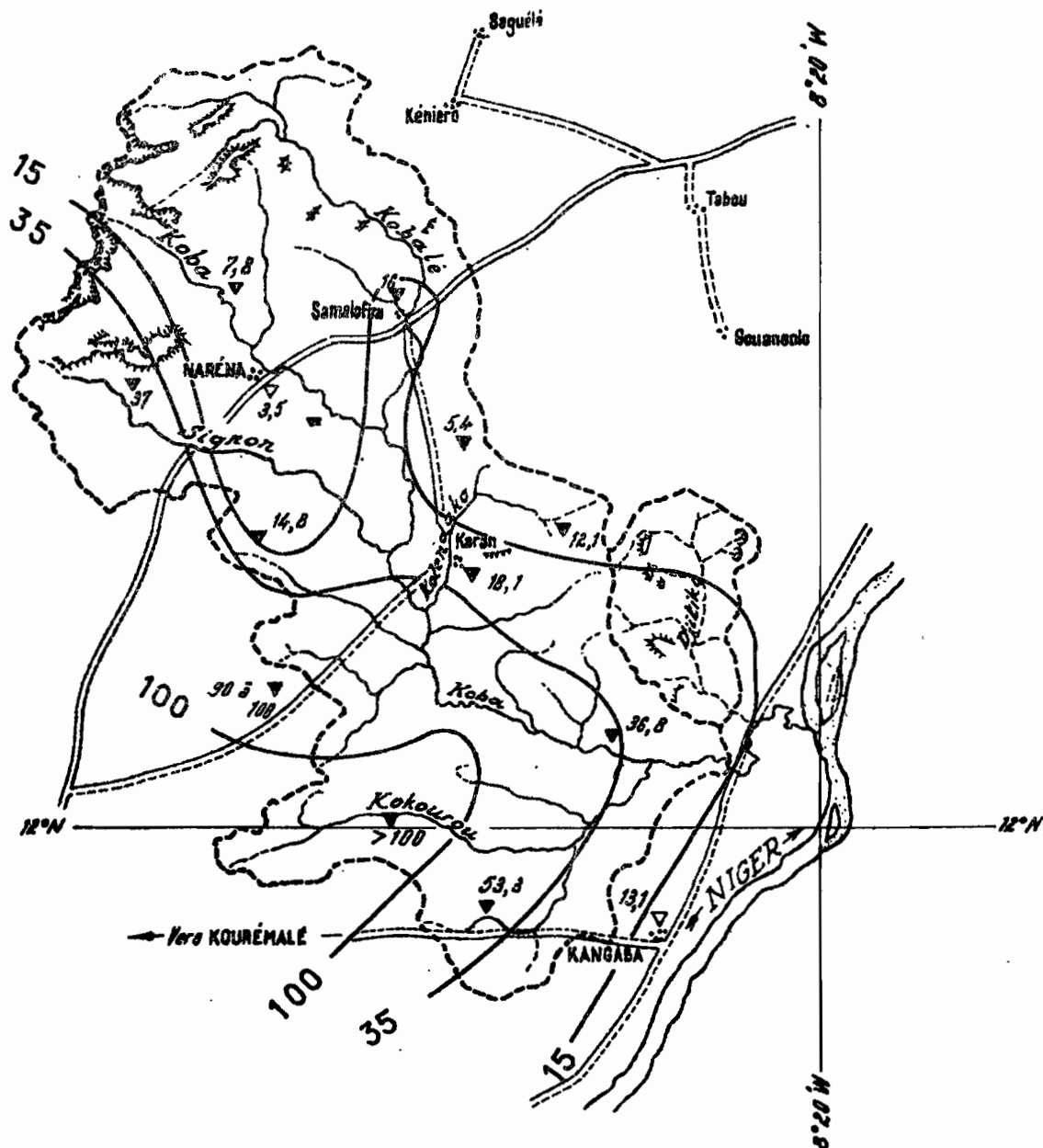
D'autre part, le même schéma de calcul que pour la crue annuelle, en supposant que la crue décennale provient de la partie aval du bassin, nous conduirait à partir des résultats du DJITIKO à une centaine de m^3/s . La POGORAYA donnerait des chiffres plus élevés : 150 à $160 \text{ m}^3/\text{s}$.

On retiendra jusqu'à plus ample informé la fourchette $100-150 \text{ m}^3/\text{s}$ (100 à 150 l/s.km^2).

Il est possible que ce chiffre soit pessimiste, mais avec une seule campagne d'observation sur ce bassin difficile et dans l'état actuel de nos connaissances sur les bassins de $1\,000 \text{ km}^2$, il n'est pas possible d'être plus précis et il serait imprudent de prendre des valeurs inférieures à 100 l/s.km^2 .

BASSIN VERSANT DE LA Koba

Isohyètes pour l'averse du 15 au 16-9-60



H min : 3,5 mm

H max > 100 mm

H moy : 52,4 mm

NOTA : Pour l'équipement du bassin du Djilika voir les fiches pluviométriques

Échelle 1/400 000

ORSTOM

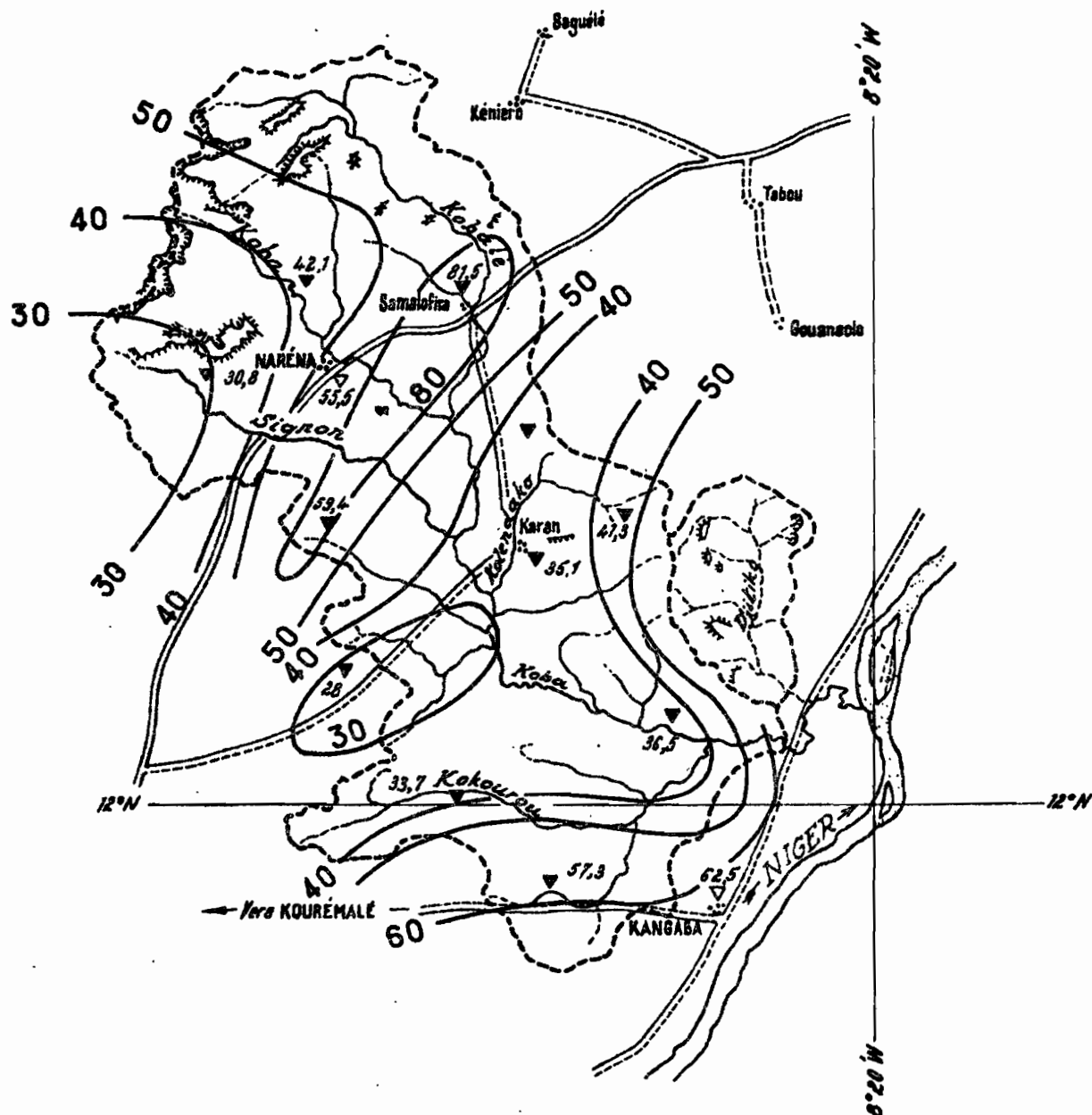
Ao

DATE : 20-10-1960

DESSINÉ : J. Bertié

MAL 51 087

Isohyètes pour l'averse du 17 au 18-7-60

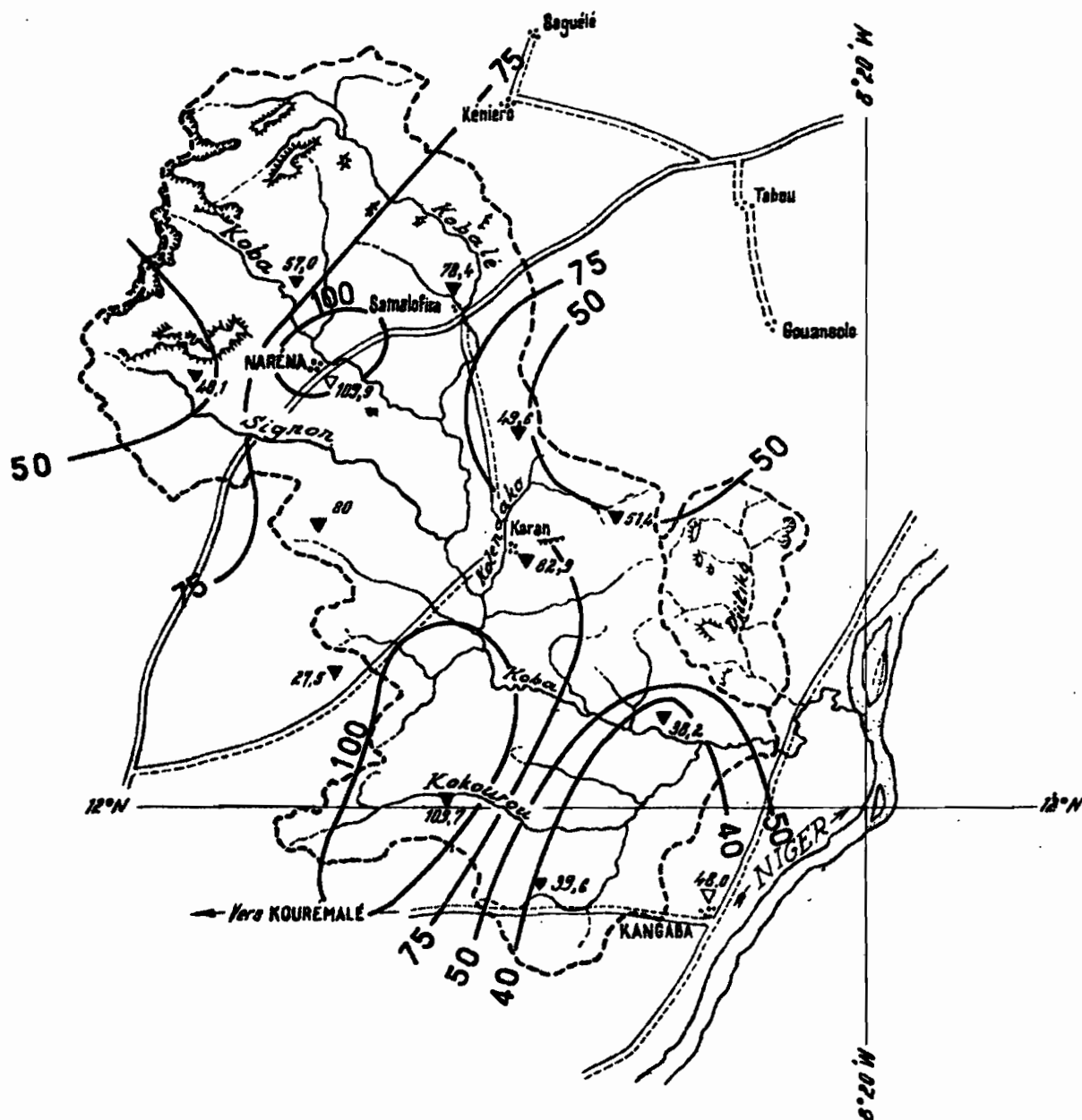


NOTA : Pour l'équipement du bassin du Djiliko voir les fiches pluviométriques

Échelle 1/400 000

BASSIN VERSANT DE LA Koba

Isohyètes pour l'averse du 9 au 10-8-60



H min: 27,5 mm

H max: 109,7 mm

H moy: 73,2 mm

NOTA : Pour l'équipement du bassin du Djilika voir les fiches pluviométriques

Echelle 1/400 000

ORSTOM

Ao

DATE : 20-10-1960




DESSINÉ : J. B. B. B.

MAL 51 089

BASSIN VERSANT DU DJITIKO A MADINA

AVERSE N° 2

12°10'N

-  Station limnographique
-  Pluviomètre association
-  Pluviographe

Hmin : 45,0

Hmax : 85,3

Hmoy : 55,5

Dispersion %

Isohyètes pour

l'averse du : 17 au 18/7

PRÉCIPITATIONS ANTERIEURES

1 heure avant :

3 heures avant :

24 heures avant :

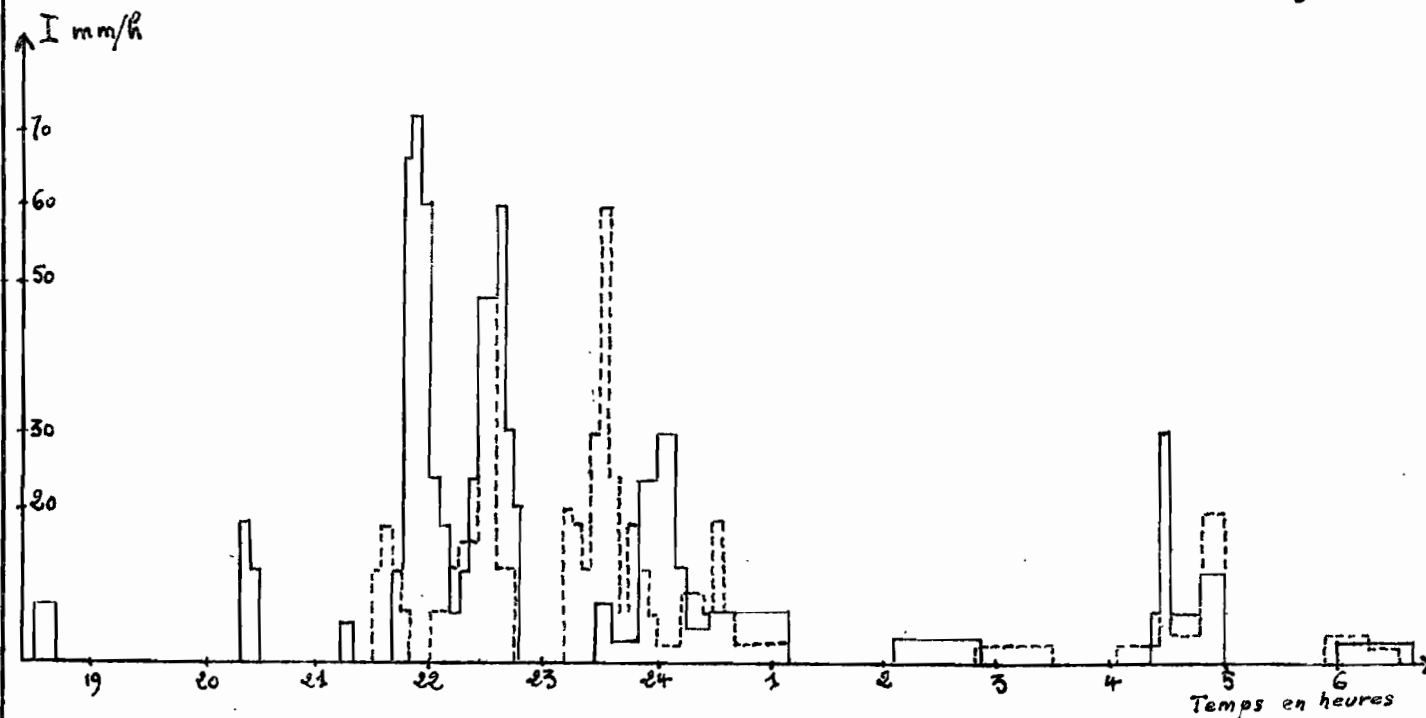
3 jours avant :

10 jours avant :

0 1 2 3 4 km

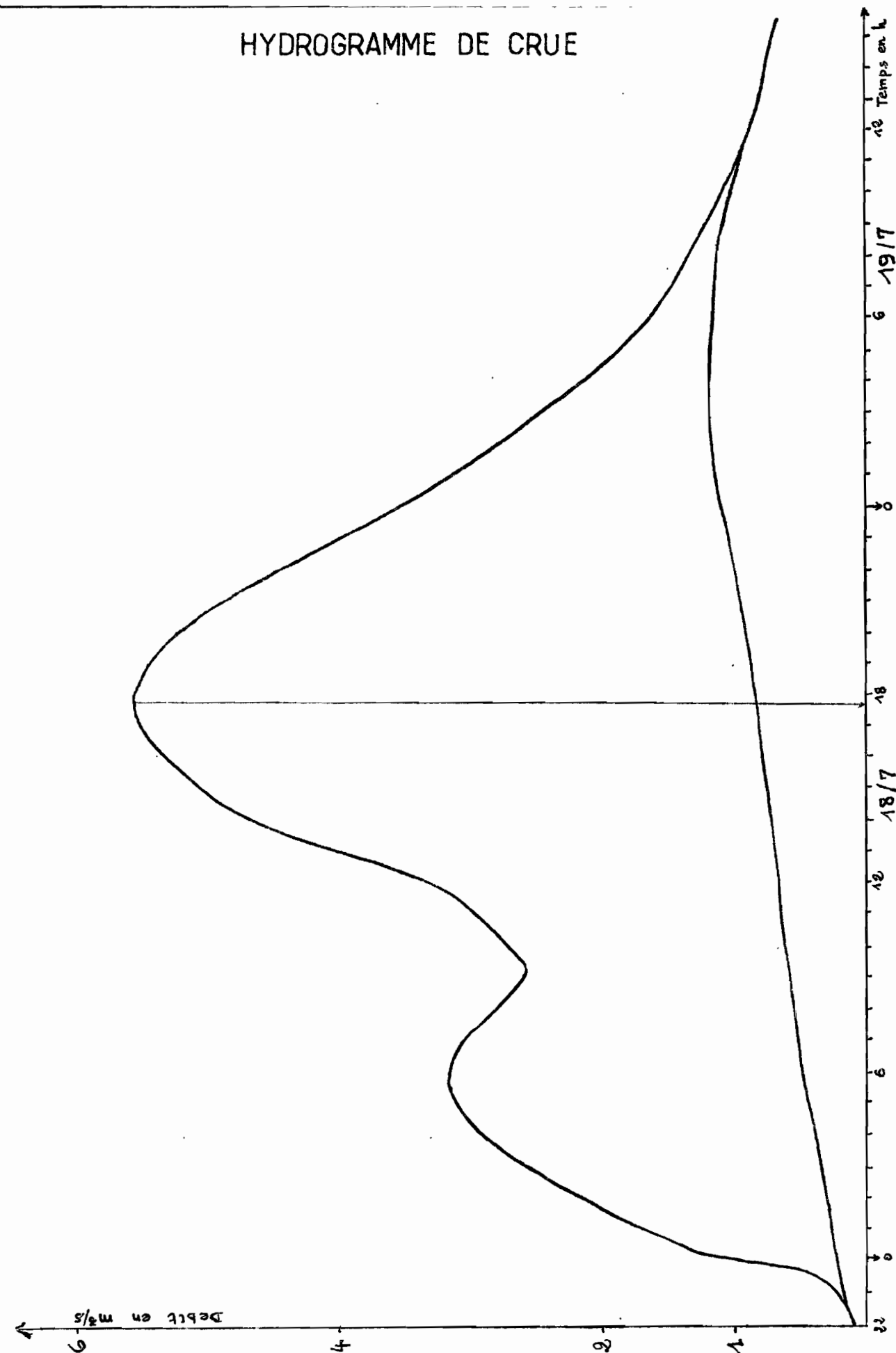
HYÉTOGRAMMES ORIGINAUX

Pluviographe N° 2
" " N° 8



MAL 51.083

HYDROGRAMME DE CRUE



BASSIN VERSANT DU DJITIKO A MADINA

AVERSE N° 7

12°10'N

- Station limnimétrique
- Pluviomètre association
- Pluviographe

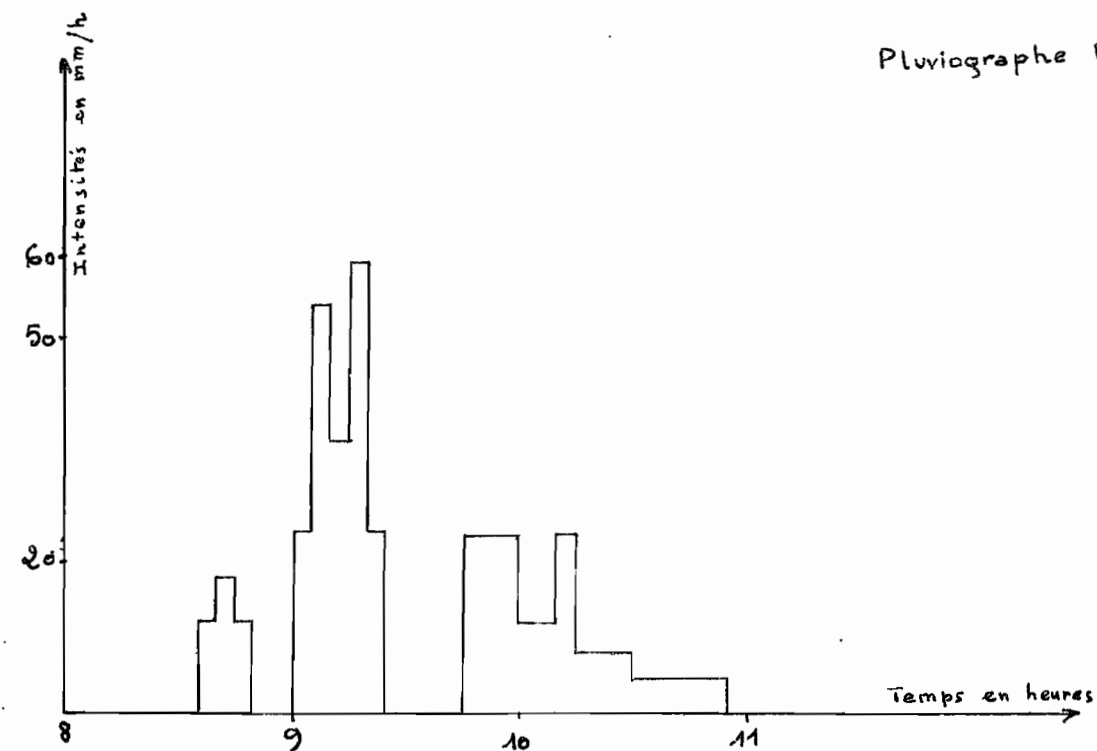
Hmin : 1,7
Hmax : 35,2
Hmoy : 21,2
Dispersion %
Isohyètes pour l'averse du : 2/8/60

PRÉCIPITATIONS ANTERIEURES
1 heure avant :
3 heures avant :
24 heures avant :
3 jours avant :
10 jours avant :

0 1 2 3 4 km

HYÉTOGRAMMES ORIGINAUX

Pluviographe N°2



MAL. 51. 084

HYDROGRAMME DE CRUE

Q m³/s

12

10

8

6

4

2

1

0

20

4/8

5/8

6/8

7/8

8/8

9/8

10/8

11/8

12/8

13/8

14/8

15/8

16/8

17/8

18/8

19/8

20/8

21/8

22/8

23/8

24/8

25/8

26/8

27/8

28/8

29/8

30/8

31/8

32/8

33/8

34/8

35/8

36/8

37/8

38/8

39/8

40/8

41/8

42/8

43/8

44/8

45/8

46/8

47/8

48/8

49/8

50/8

51/8

52/8

53/8

54/8

55/8

56/8

57/8

58/8

59/8

60/8

61/8

62/8

63/8

64/8

65/8

66/8

67/8

68/8

69/8

70/8

71/8

72/8

73/8

74/8

75/8

76/8

77/8

78/8

79/8

80/8

81/8

82/8

83/8

84/8

85/8

86/8

87/8

88/8

89/8

90/8

91/8

92/8

93/8

94/8

95/8

96/8

97/8

98/8

99/8

100/8

101/8

102/8

103/8

104/8

105/8

106/8

107/8

108/8

109/8

110/8

111/8

112/8

113/8

114/8

115/8

116/8

117/8

118/8

119/8

120/8

121/8

122/8

123/8

124/8

125/8

126/8

127/8

128/8

129/8

130/8

131/8

132/8

133/8

134/8

135/8

136/8

137/8

138/8

139/8

140/8

141/8

142/8

143/8

144/8

145/8

146/8

147/8

148/8

149/8

150/8

151/8

152/8

153/8

154/8

155/8

156/8

157/8

158/8

159/8

160/8

161/8

162/8

163/8

164/8

165/8

166/8

167/8

168/8

169/8

170/8

171/8

172/8

173/8

174/8

175/8

176/8

177/8

178/8

179/8

180/8

181/8

182/8

183/8

184/8

185/8

186/8

187/8

188/8

189/8

190/8

191/8

192/8

193/8

194/8

195/8

196/8

197/8

198/8

199/8

200/8

201/8

202/8

203/8

204/8

205/8

206/8

207/8

208/8

209/8

210/8

211/8

212/8

213/8

214/8

215/8

216/8

217/8

218/8

219/8

220/8

221/8

222/8

223/8

224/8

225/8

226/8

227/8

228/8

229/8

230/8

231/8

232/8

233/8

234/8

235/8

236/8

237/8

238/8

239/8

240/8

241/8

242/8

243/8

244/8

245/8

246/8

247/8

248/8

249/8

250/8

251/8

252/8

253/8

254/8

255/8

256/8

257/8

258/8

259/8

260/8

261/8

262/8

263/8

264/8

265/8

266/8




267/8

268/8

269/8

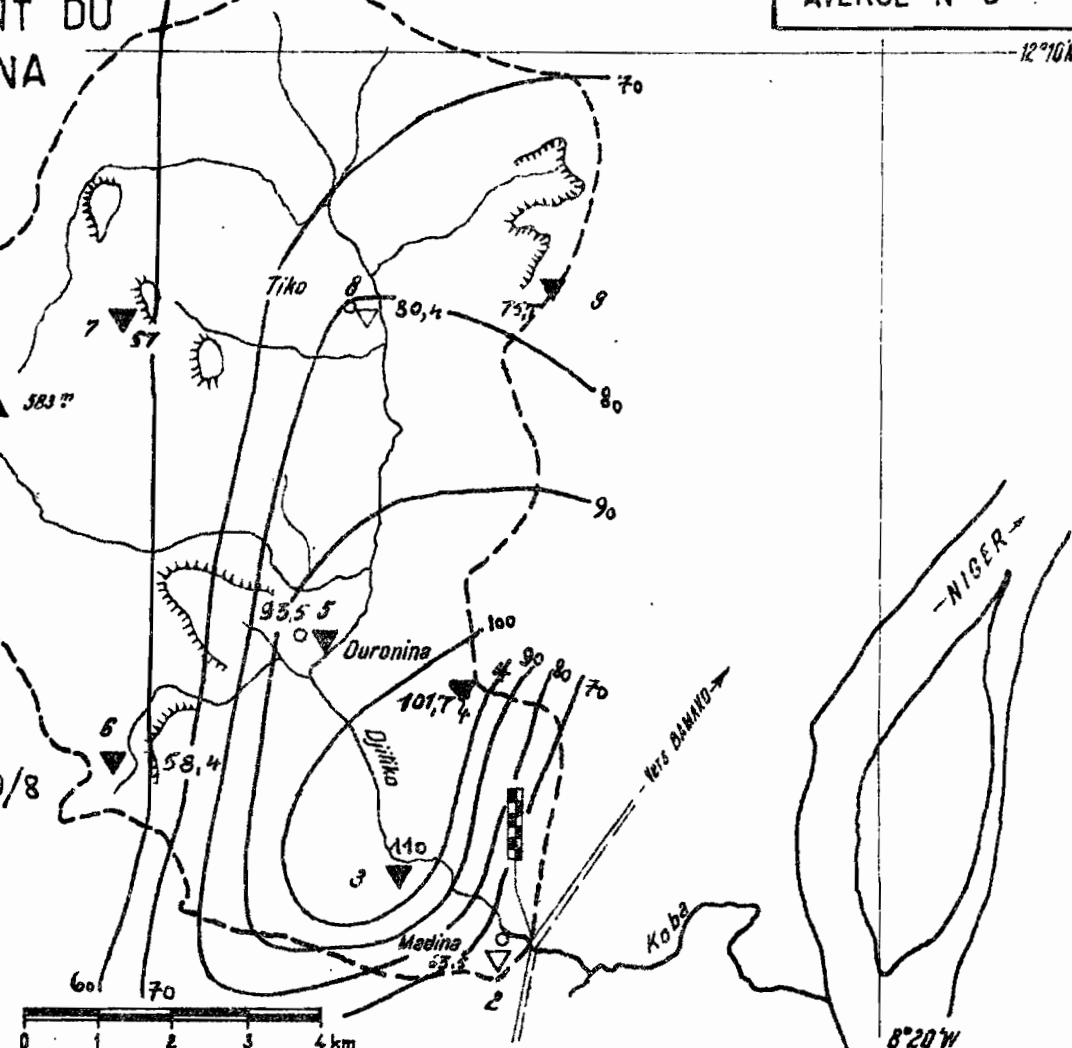
BASSIN VERSANT DU DJITIKO A MADINA

AVERSE N° 8

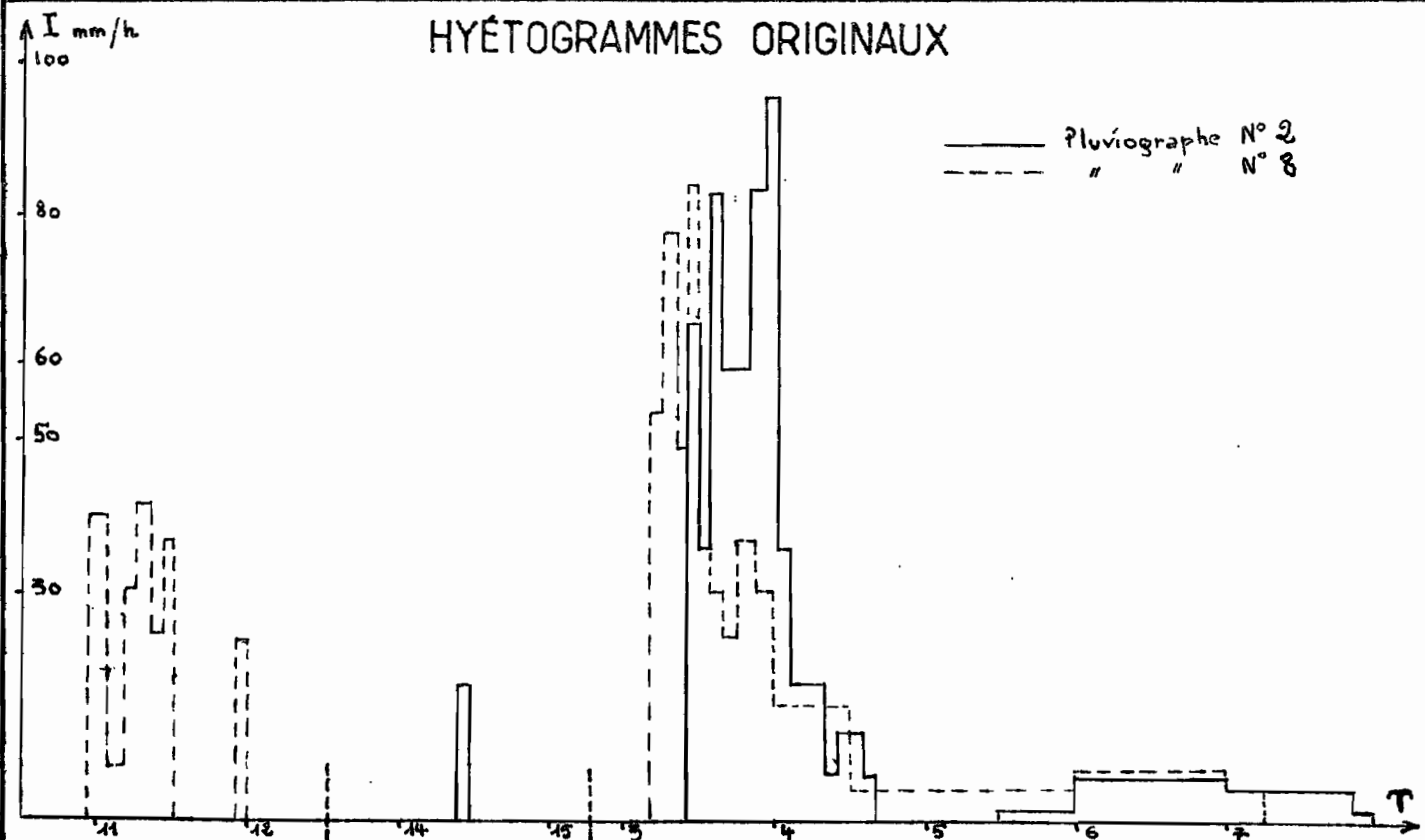
-  Station limnologique
-  Pluviomètre association
-  Pluviographe

Hmin : 57
Hmax : 110
Hmoy : 74
Dispersion $\frac{1}{10}$
Isohyètes pour
l'averse du : 9 au 10/8

PRÉCIPITATIONS ANTERIEURES
1 heure avant :
3 heures avant :
24 heures avant :
3 jours avant :
10 jours avant :

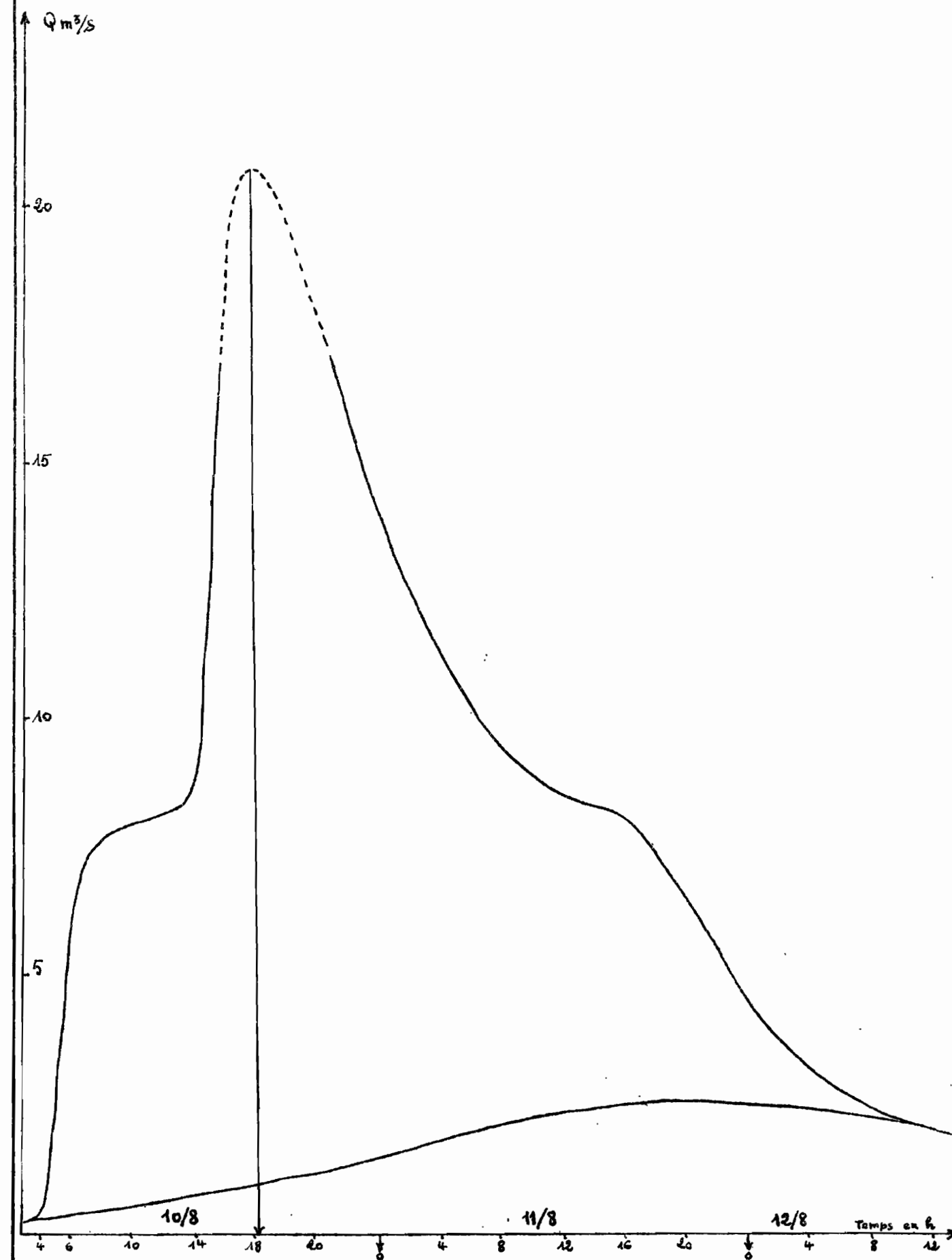


HYÉTOGRAMMES ORIGINAUX



MAL. 51. 085

HYDROGRAMME DE CRUE



BASSIN VERSANT DU DJITIKO A MADINA

AVERSE N° 10.

12°10'N

- Station limnologique
- Pluviomètre association
- Pluviographe

Hmin : 13

Hmax : 58,3

Hmoy : 34

Dispersion %

Isohyètes pour

l'averse du :

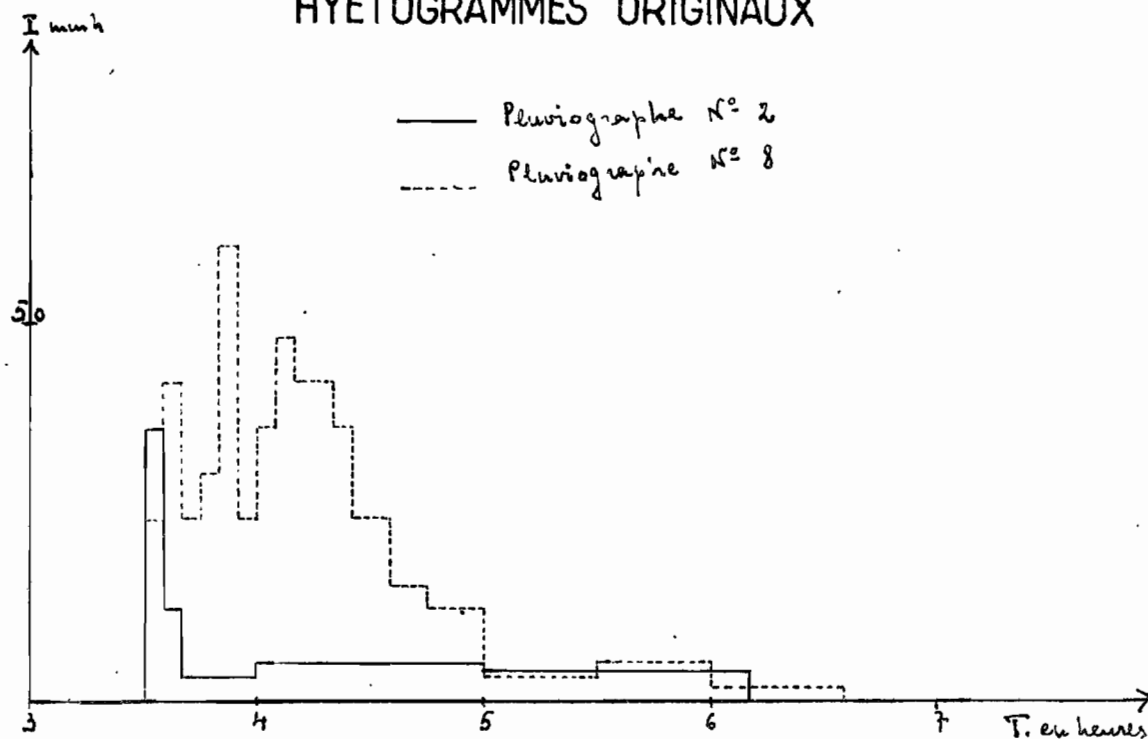
6 Septembre 1960

PRÉCIPITATIONS ANTERIEURES

- 1 heure avant :
- 3 heures avant :
- 24 heures avant :
- 3 jours avant :
- 10 jours avant :

0 1 2 3 4 km

HYÉTOGRAMMES ORIGINAUX



HYDROGRAMME DE CRUE

